



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
TUNJA
VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1732

CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA Y DISEÑO DE
UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CAPTADOR DE
NIEBLA TRIDIMENSIONAL, COMO FUENTE
ALTERNATIVA PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUA
EN LA CIUDAD DE TUNJA

Christian Alejandro Pineda Torres

Universidad Santo Tomás Tunja
Facultad de Ingeniería Electrónica (FIE)
Tunja, Colombia
2023

Caracterización climatológica y diseño de un sistema automatizado para captador de niebla tridimensional, como fuente alternativa para la recolección de agua en la ciudad de Tunja

Christian Alejandro Pineda Torres

Anteproyecto correspondiente al trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Tutor:
M.Sc. Carlos Cardona Coy

Co - tutores:
M.Sc. William Álvarez Castañeda

Línea de Investigación:
Instrumentación y Control

Universidad Santo Tomás Tunja
Facultad de Ingeniería Electrónica (FIE)
Tunja, Colombia
2023

EXONERACIÓN DE RESPONSABILIDADES

Los conceptos desarrollados, investigaciones realizadas, prácticas elaboradas, análisis y conclusiones del presente proyecto son de exclusiva responsabilidad del autor. Dejo constancia que cedo los derechos de propiedad intelectual a la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, según lo establecido por la ley No. 1915 del 12 de Julio de 2018, ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1.	Definición del problema.....	2
2.2.	Formulación de Preguntas.....	2
2.3.	Delimitación del problema.....	3
3.	JUSTIFICACIÓN	4
4.	IMPACTOS	5
5.	OBJETIVOS	6
5.1.	Objetivo General	6
5.2.	Objetivos Específicos.....	6
6.	ESTADO DEL ARTE.....	7
6.1.	Caracterización de un sistema captador de niebla, como fuente alternativa de agua que relacione variables climatológicas en la ciudad de Tunja – Boyacá.....	7
6.2.	Propuesta de un modelo de negocio para un sistema de captación de agua niebla en Colombia.....	7
6.3.	Dew, Fog and Rain Collector in a Hyper-arid Climate: Case Study in Abu Dhabi.....	7
6.4.	Sistema de monitorización inalámbrica de temperatura mediante sensor de infrarrojos y microcontrolador ESP32.....	8
7.	MARCO TEÓRICO.....	9
7.1.	Atrapaniebla	9
7.2.	Caracterización climatológica.....	9
7.3.	Microcontrolador ESP32.....	10
7.4.	Instrumentación.....	10
7.5.	Características geográficas.....	11
8.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	12
8.1.	Tipo de investigación	12
8.2.	Diseño y funcionamiento	12
8.2.1.	Diseño de estación para caracterización del clima.....	12
8.2.2.	Diseño sistema de recolección de agua con atrapaniebla	13
8.2.3.	Caracterización final del clima	13
8.2.4.	Análisis de datos de calidad de agua.....	13
9.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	14
9.1.	Dimensionamiento de la estructura para el sistema atrapanieblas tridimensional.....	14
9.1.1.	Estructura y bases del sistema atrapanieblas.....	14
9.1.2.	Mecánica del sistema atrapanieblas	15
9.1.3.	Montaje de la estructura del sistema atrapanieblas	17
9.2.	Dimensionamiento de la estructura para estación climatológica y sistema de lectura de calidad de agua.....	20
9.2.1.	Diseño de la estructura de la estación climatológica	20
9.2.2.	Diseño de la estructura del sistema de recolección de agua para lectura de calidad de agua	20
9.2.3.	Montaje de la estructura del sistema de estación climatológica y toma de agua para calidad de agua.....	21
9.3.	Dimensionamiento sistema electrónico y sensores.....	25
9.3.1.	Dimensionamiento del sistema de potencia	25

9.3.2.	Dimensionamiento del sistema de estación meteorológica y calidad de agua.....	26
9.3.3.	Sistema de actuadores	27
9.3.3.	Sistema comunicación.....	27
9.3.4.	Montaje del sistema electrónico y de potencia	28
10.	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	29
11.	CALIBRACION DE LOS SENSORES	31
11.1.	Calibración dato Temperatura exterior	32
11.2.	Calibración dato Humedad.....	32
11.3.	Calibración dato Temperatura interior 1	33
11.4.	Calibración dato Temperatura interior 2	33
11.5.	Calibración dato Temperatura agua	34
11.6.	Calibración dato Turbidez agua	34
11.7.	Calibración dato Conductividad agua	35
11.8.	Caracterización dato Nivel agua	35
12.	PUESTA EN MARCHA.....	37
13.	ANALISIS DE DATOS	38
13.1.	Toma de datos	38
13.2.	Análisis con Temperatura promedio	43
13.3.	Análisis con Humedad	44
13.4.	Análisis con Presión Atmosférica	45
13.5.	Análisis con Partículas de CO2 en el aire	46
13.6.	Análisis con Velocidad del aire	47
14.	DISCUSIÓN	49
14.1.	Discusión con Temperatura promedio	49
14.2.	Discusión con Humedad	49
14.3.	Discusión con Presión atmosférica	50
14.4.	Discusión con Partículas de CO2 en el aire	51
14.5.	Discusión con Velocidad del viento.....	51
15.	CONCLUSIONES	53
16.	CRONOGRAMA.....	55
16.1.	Fase de investigación	56
16.2.	Fase de diseño e implementación.....	56
16.3.	Fase de entrega.....	56
17.	PRESUPUESTO	57
18.	ESTRATEGIAS DE DIVULGACIÓN	60
18.1.	Artículo de publicación.....	60
18.2.	Registro de Software.....	60
19.	ÍNDICE DE REFERENCIAS	61
19.1.	Índice de Ilustraciones	61
19.2.	Índice de Tablas	62
19.3.	Índice de Graficas	63
20.	BIBLIOGRAFÍA	64

1. INTRODUCCIÓN

El aumento del consumo de agua, propiciado por el crecimiento demográfico y la expansión agrícola, ha generado la necesidad de buscar fuentes de agua alternativas que sean sostenibles y económicamente viables, según señala último Informe sobre el Desarrollo Sostenible del Agua [1]. En este contexto, una de las opciones a considerar es el agua de niebla, cuya captación puede realizarse mediante tecnologías innovadoras. En particular, la ciudad de Tunja destaca como una ubicación relevante para explotar este recurso natural, ya que la niebla es abundante en la zona y, sin embargo, aún no se ha explorado su potencial como fuente de agua dulce y sostenible.

Este proyecto tiene como objetivo principal aprovechar el recurso hídrico a través de captadores de niebla, siguiendo los avances tecnológicos en el diseño tridimensional de captadores de niebla [2]. Estos captadores utilizan una estructura de malla distribuida de forma tridimensional para capturar y condensar las gotas de agua presentes en la niebla. El agua condensada se recolecta a través de un sistema de recolección que permite observar sus características. Además, se incorporará un sistema automatizado para proteger la malla y desplegarla en periodos propicios para la condensación del agua.

Se debe tener en cuenta que, antes de la disposición del sistema de condensado de agua, se habrá dispuesto de un sistema de adquisición de datos con distintos sensores, que permitirá la caracterización climatológica con periodos cortos de tiempo real en distintos puntos de la ciudad de Tunja. Con los datos obtenidos, se realizará un análisis que permitirá disponer de distintas correlaciones sobre el comportamiento del entorno en las distintas zonas, como método de selección de una zona segura y viable, tanto para la protección del sistema como para la eficiencia del captador.

El sistema de adquisición de datos y el tratamiento de datos, permitirá una evaluación, sobre los materiales de la estructura de captación, y su diseño tridimensional, con la finalidad de extender la vida útil de la malla y generar una protección adicional para el sistema controlador ante diversos problemas climatológicos que el entorno pueda generar.

2. *PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA*

2.1. **Definición del problema**

La problemática del agua es un tema relevante a nivel mundial. Según el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, más de 3.000 millones de personas carecen de acceso a instalaciones para lavarse las manos y el 50% de la malnutrición está relacionada con la falta de agua, saneamiento e higiene [1]. En el panorama global, la gestión de los recursos hídricos enfrenta desafíos significativos. Se estima que para 2030, la demanda de agua superará en un 40% la oferta disponible si se mantienen las prácticas actuales. La escasez crónica de agua, la incertidumbre hidrológica y los fenómenos meteorológicos extremos, como las inundaciones y sequías, son consideradas amenazas importantes para la prosperidad y la estabilidad mundial, lo que se ve reflejado como un desafío creciente donde gran parte de la población mundial vive en zonas con escasez de agua.

En Tunja, las actividades humanas demandan más fuentes de agua debido a la creciente necesidad y preocupación por el recurso hídrico. Las fuentes de abastecimiento incluyen la represa Teatinos, donde se garantiza el suministro de agua en condiciones normales, pero también se utilizan estaciones de bombeo estratégicamente ubicadas para aprovechar una segunda fuente de agua subterránea extraída de pozos profundos en el valle del río Jordán en Tunja [3]. Sin embargo, debido al crecimiento de la ciudad, se considera necesario explorar otras fuentes de abastecimiento, que se ve reflejado en un estudio realizado por Proactiva, donde se recomienda la represa La Copa, ubicada a unos 30 kilómetros de Tunja, como una posible fuente futura de agua [4]. Debido a esto, se extiende un desafío significativo para el abastecimiento de agua potable y otras necesidades básicas para la ciudad. Esta problemática está relacionada con la disponibilidad limitada de fuentes convencionales de agua en la región, así como con los efectos del cambio climático, que pueden llevar a la disminución de las precipitaciones y a un uso ineficiente del recurso hídrico.

2.2. **Formulación de Preguntas**

A partir de la propuesta de investigación se formulan las siguientes preguntas:

- ¿Cómo realizar una validación de los datos climatológicos y meteorológicos, si el dispositivo se ubica en la ciudad de Tunja?
- ¿Cómo realizar un envío constante de información sobre los datos de validación climatológica que puedan ser almacenados en la nube para su posterior análisis?
- ¿Cómo realizar un sistema automatizado que permita la protección de la malla de captación, respecto a daños por fuertes vientos y altas radiaciones de sol en la ciudad?
- ¿Cómo se puede garantizar la fiabilidad y precisión de los datos obtenidos al evaluar la calidad del agua recolectada a través del sistema?

2.3. Delimitación del problema

Partiendo de la implementación de los sistemas eléctricos, se debe considerar los sensores necesarios para realizar la caracterización del clima y evaluar la calidad del agua. Sin embargo, debido a que los sensores de mayor precisión suelen tener un mayor costo, es importante establecer una limitación en términos de la relación entre precisión y costo. En este sentido, se puede definir una delimitación en la que se priorice la eficiencia y la funcionalidad del sistema atrapanieblas tridimensional, teniendo en cuenta las restricciones presupuestarias. Por lo cual, se deberá tener en cuenta que los sensores seleccionados deberán ofrecer un equilibrio adecuado entre precisión y costo.

Del mismo modo, el sistema de comunicación y recepción de información se considera como una limitación, debido a la necesidad de contar con una comunicación estable y confiable de bajo costo. Esto implica que la infraestructura y tecnología utilizadas deben ser accesibles y económicamente viables, de manera que puedan ser implementadas en diferentes zonas en la ciudad de Tunja sin generar un impacto financiero excesivo y que pueda abarcar la mayor zona posible de la ciudad de Tunja. Esto implica un desafío en términos de cobertura y alcance, ya que se deben superar las limitaciones geográficas y topográficas presentes en la región.

También se parte de la premisa de que no se cuentan con los permisos necesarios para implementar el proyecto en zonas públicas de la ciudad de Tunja. Esta delimitación implica que el proyecto estará restringido a áreas privadas específicas en la ciudad de Tunja, donde se haya obtenido previamente el permiso correspondiente para implementar el sistema.

3. *JUSTIFICACIÓN*

La importancia del agua como recurso valioso para la vida humana y los procesos productivos, naturales y ambientales ha sido reconocida ampliamente. En este sentido, el desarrollo de proyectos que busquen alternativas sostenibles y de bajo impacto ambiental para la recolección de agua se vuelve fundamental [5].

La ciudad de Tunja, ubicada en el departamento de Boyacá, presenta condiciones climatológicas y orográficas favorables para la implementación de sistemas de captación de niebla. Gran parte del territorio de Tunja es zona montañosa, lo que contribuye a la concentración de humedad atmosférica [6]. Sin embargo, a pesar de estas condiciones favorables, en la ciudad de Tunja, solo se ha desarrollado previamente un modelo de captación de niebla con un sistema de red bidimensional como fuente alternativa de agua en la ciudad [7].

En este contexto, la implementación de un sistema atrapanieblas tridimensional en la ciudad de Tunja se presenta como una opción prometedora. Este sistema aprovecha la humedad presente en el aire para convertirla en agua potable utilizable. A través de la captura de partículas de niebla y la condensación del vapor de agua, se genera un suministro adicional de agua que contribuiría en algún porcentaje a mitigar la escasez de agua. Además, al aprovechar las condiciones climáticas locales, el sistema atrapanieblas tridimensional podría funcionar de manera sostenible y resiliente, incluso durante los períodos de sequía.

Se debe tener en cuenta que el agua capturada a través de este sistema podría ser utilizada tanto para consumo humano como para actividades agrícolas, proporcionando una fuente de agua confiable y segura para la población local. Además, la implementación de este sistema podría fomentar la conciencia sobre el uso responsable del agua y promover prácticas de conservación en la comunidad.

4. IMPACTOS

Desde el punto de vista social, la implementación de este sistema brindaría beneficios directos a la comunidad. El acceso mejorado al agua potable sería especialmente beneficioso en áreas donde la escasez de agua es un problema recurrente. Esto mejoraría la calidad de vida de los residentes, ya que tendrían una fuente confiable de agua para el consumo diario. Además, el proyecto podría fomentar la participación comunitaria al requerir la colaboración de los ciudadanos en la instalación y el mantenimiento de los atrapanieblas. Esto fortalecería los lazos entre los miembros de la comunidad y promovería un sentido de solidaridad y cooperación.

En términos económicos, el sistema atrapanieblas podría tener un impacto positivo en la ciudad de Tunja. La disponibilidad de agua potable mejorada podría reducir la dependencia de fuentes de agua costosas, como la importación o la extracción de aguas subterráneas. Esto, a su vez, podría disminuir los costos asociados con la adquisición de agua y tener un efecto estabilizador en la economía local. Además, la implementación del proyecto podría generar empleos adicionales en la instalación y el mantenimiento de los atrapanieblas, lo que contribuiría a la creación de empleo y al desarrollo económico de la región.

En cuanto al impacto ambiental, el sistema atrapanieblas sería una solución sostenible para el suministro de agua. Al aprovechar la niebla como fuente de agua, se reduciría la presión sobre otros recursos hídricos, como ríos y acuíferos subterráneos. Esto podría contribuir a la conservación y preservación de los ecosistemas locales. Además, la implementación de esta tecnología promovería la conciencia ambiental y la adopción de prácticas más sostenibles por parte de la comunidad de Tunja, lo que a su vez podría tener un impacto positivo en la mitigación del cambio climático y la protección del medio ambiente.

Respecto al impacto investigativo, en el ámbito ambiental conllevaría a estudios sobre el impacto en el ciclo del agua local, la evaluación de la calidad del agua captada y los efectos en la biodiversidad y los ecosistemas a largo plazo. En cuanto a la gestión del agua, podría generar investigaciones sobre la viabilidad técnica y económica del proyecto, incluyendo análisis de costos y beneficios, evaluaciones de la demanda y disponibilidad de agua, así como estudios sobre la distribución equitativa y el acceso al agua captada.

Además, el proyecto podría fomentar la colaboración entre diferentes instituciones de investigación, universidades y organismos gubernamentales, tanto a nivel local como nacional. Esta colaboración permitiría compartir conocimientos, realizar estudios conjuntos y crear sinergias que potencien el impacto investigativo del proyecto. En conjunto, estas investigaciones contribuirían a una mejor comprensión de la gestión del recurso hídrico en la ciudad y sentarían las bases para futuros proyectos similares en otras regiones.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema automatizado de captura de agua niebla con estructura tridimensional mediante el uso de sensores y dispositivos electrónicos con el fin de obtener una solución innovadora que permita recolectar agua para beneficio de la comunidad local.

5.2. Objetivos Específicos

- Verificar los datos climatológicos y meteorológicos relevantes, mediante el uso de diferentes sensores que permita garantizar una correcta caracterización.
- Implementar un sistema de comunicación eficiente que permita el envío correcto de los datos recolectados a una base de datos en la nube, asegurando la integridad y la disponibilidad de la información para su posterior análisis.
- Desarrollar un sistema automatizado mediante el uso de motorreductores que permita la recolección eficiente de agua niebla y garantice la integridad de la tela captadora. En caso de que el sistema no logre recolectar agua de manera exitosa, se procederá a analizar y diagnosticar las posibles causas del fallo, implementando las correcciones necesarias para asegurar su funcionamiento adecuado.
- Evaluar la calidad del agua recolectada mediante el uso de sensores que permitan la observación de cantidad obtenida, la turbidez y conductividad, con el fin de complementar el estudio que se realizará a una de las muestras de agua que será enviada a un laboratorio especializado para garantizar la fiabilidad y precisión de los datos obtenidos.

6. ESTADO DEL ARTE

Se realiza una revisión exhaustiva de investigaciones previas y desarrollos en la captación de niebla y tecnologías relacionadas. Se examinan los estudios sobre sistemas de captación en diferentes configuraciones, técnicas y materiales utilizados, y enfoques de análisis de datos. Además, se analiza la eficiencia de captación en distintos entornos geográficos y climáticos, considerando factores ambientales que afectan el rendimiento. Se abordan avances en tecnologías de control y automatización para mejorar la eficiencia y reducir la intervención humana.

Para el área regional, se tendrá en cuenta el siguiente proyecto:

6.1. Caracterización de un sistema captador de niebla, como fuente alternativa de agua que relacione variables climatológicas en la ciudad de Tunja – Boyacá

El proyecto busca caracterizar un sistema captador de niebla como fuente alternativa de agua en Tunja, Boyacá. Su objetivo principal es aliviar la escasez de agua en la región mediante la evaluación de la viabilidad técnica y los factores clave para la recolección exitosa de agua [7]. Brinda los conocimientos necesarios sobre la viabilidad técnica, las variables climatológicas relevantes y los parámetros técnicos que deben considerarse para implementar con éxito el sistema de captación de niebla tridimensional en Tunja. Esta información servirá de base para diseñar un sistema confiable, eficiente y resistente, que aproveche de manera óptima la niebla como fuente alternativa de agua en la región.

Para el área nacional, se tendrá en cuenta el siguiente proyecto:

6.2. Propuesta de un modelo de negocio para un sistema de captación de agua niebla en Colombia

El proyecto tiene como objetivo proponer un modelo de negocio sostenible, donde su principal función es aprovechar las mallas de polipropileno estratégicamente colocadas para capturar y condensar el agua presente en la niebla, ofreciendo un servicio de abastecimiento de agua con un valor ecológico superior a los sistemas convencionales [8]. Cabe recalcar que el proyecto nos proporciona detalles técnicos sobre la captación de agua de niebla, incluyendo el tamaño y la porosidad óptima de las mallas, así como consideraciones geográficas y estructurales. Además, se abordan aspectos económicos, legales y ambientales relacionados con la implementación del sistema. Por lo cual, se tendrán como referencia como guía para la obtención de información técnica y aspectos económicos, legales y ambientales relevantes para el diseño y la implementación del sistema.

Para el área internacional, se tendrá en cuenta los siguientes proyectos:

6.3. Dew, Fog and Rain Collector in a Hyper-arid Climate: Case Study in Abu Dhabi

Se describe un estudio realizado en un área urbana de Abu Dhabi, caracterizada por un clima hiper árido, donde su objetivo principal fue evaluar un colector de rocío, niebla y lluvia, determinando

su viabilidad práctica y el efecto de enfriamiento en su superficie [9]. Los resultados del proyecto son fundamentales para el diseño del sistema de recolección de agua niebla, ya que ofrecen información sobre el diseño del colector, su material y la importancia de las condiciones climáticas en la cantidad de agua recolectada.

6.4. Sistema de monitorización inalámbrica de temperatura mediante sensor de infrarrojos y microcontrolador ESP32

El proyecto tiene como fin la implementación de un sistema que realizará el monitoreo de temperatura con el uso de un sensor infrarrojo, teniendo en cuenta que dicho sistema realiza el envío de datos mediante comunicación inalámbrica WiFi, que será transferida a un servidor web Thingspeak [10]. La disposición de este proyecto proporciona una base para entender cómo se lleva a cabo el envío de datos de sensores mediante el uso de WiFi y el servidor web Thingspeak, lo cual ayudará a planificar y desarrollar un sistema de envío de datos de manera efectiva para su monitoreo.

En conclusión, se tuvieron en cuenta los proyectos antes mencionados como referencia en el proyecto debido a su contribución en términos de conocimientos técnicos, datos climáticos, análisis de eficiencia y consideraciones económicas, legales y ambientales.

7. MARCO TEÓRICO

El presente marco teórico es de suma importancia para el diseño del proyecto de atrapaniebla tridimensional automatizado, ya que abarca aspectos fundamentales que guiarán el desarrollo y la implementación exitosa de este innovador sistema.

7.1. Atrapaniebla

Un atrapanieblas, también conocido como sistema de captación de agua niebla, es una estructura diseñada para recolectar y capturar las pequeñas gotas de agua presentes en la niebla. Estos sistemas están compuestos por una red o malla especial que permite que las gotas de niebla se condensen y se acumulen en ella. A medida que la niebla atraviesa la estructura, las gotas se adhieren a la red y gotean hacia un reservorio o sistema de almacenamiento. Generalmente, en estos sistemas usan la malla Raschel, que es un tipo de malla tejida utilizada para capturar agua de la niebla, siendo una técnica sencilla y económica en áreas con escasez de agua, como se observa la malla de la Ilustración 1.



Ilustración 1 . Atrapanieblas “CloudFisher” de Fundación Agua WasserStiftung [11].

7.2. Caracterización climatológica

La caracterización climatológica implica analizar y describir las condiciones climáticas de una región a lo largo del tiempo utilizando datos meteorológicos recopilados. Este proceso utiliza estadísticas y patrones para comprender la variabilidad climática en la ubicación específica. Para caracterizar climatológicamente la zona con más niebla, es necesario recopilar ciertos datos relevantes, como se observa en la *Tabla 1*.

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL
Registro de temperaturas	Obtención de datos de temperaturas máximas, mínimas y promedio.
Registro de precipitaciones	Se mide la cantidad de agua recolectada en un recipiente.
Duración de niebla	Se registra el tiempo desde el inicio hasta el fin de cada episodio de niebla.
Humedad relativa	Cantidad de vapor que puede haber en el aire
Velocidad del viento	Se utilizan anemómetros para medir la velocidad del viento.
Índice de calor	Se usa la temperatura y la humedad relativa para determinar el índice de calor.

Tabla 1 . Condiciones principales en la caracterización climatológica [6] [7]

7.3. Microcontrolador ESP32

El ESP32 es ampliamente elegido debido a sus múltiples núcleos y alta velocidad de procesamiento, lo que le permite ejecutar múltiples tareas simultáneamente y manejar aplicaciones más exigentes. Sus características de procesamiento avanzadas lo hacen adecuado para proyectos que requieren un rendimiento y eficiencia mejorados, especialmente en aplicaciones de IoT donde se necesitan capacidades de procesamiento de datos y ejecución en tiempo real. Como se observa en la Ilustración 2 (Página 9), este ofrece una amplia gama de periféricos flexible con otros dispositivos, lo que lo convierte en una opción versátil para proyectos de diversas aplicaciones.

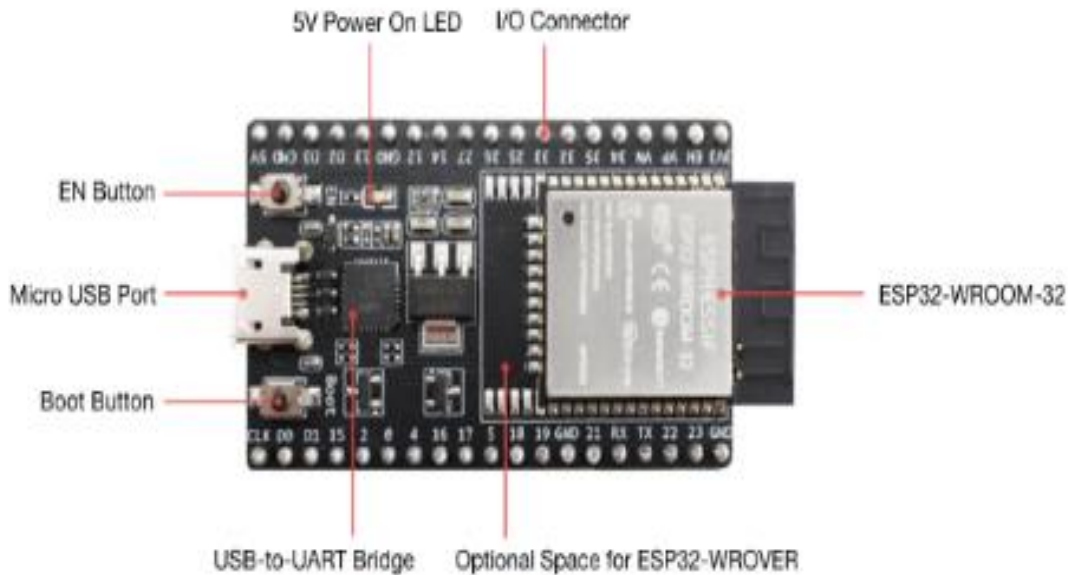


Ilustración 2 . ESP32-DevKitC V4 board [12].

7.4. Instrumentación

La instrumentación necesaria en el proyecto incluye los sensores que permitirán la caracterización climática y la obtención de datos de calidad de agua, como se observa en la *Tabla 2*.

MONITOREO	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	RANGO	CORRIENTE (mA)
Caracterización climática	Temperatura	Módulo MAX6675	0°C a 1024°C	50
	Humedad	Módulo DHT11	20% a 95%	0.3
	Presión atmosférica	Módulo BMP280	300 hPa a 1100 hPa	0.03
	Calidad de aire (CO ₂)	Módulo Gas MQ135	20 ppm – 2000 ppm	150
	Anemómetro	WH-SP-WS01	0 rpm a 1000 rpm	1
Calidad de agua	Nivel de agua	Nivel Agua analógico	0% a 100%	20
	Sólidos disueltos	Módulo TSW-20M	0 – 100 NTU	40
	Conductividad	Módulo SEN0244	uS/cm	6

Tabla 2 . Instrumentación necesaria para el sistema [Elaborado por el autor].

7.5. Características geográficas

Tunja es una ciudad colombiana ubicada en el departamento de Boyacá, sobre la cordillera oriental de los Andes, a 115 km al noreste de Bogotá, sus principales características geográficas y climáticas se observan en la *Tabla 3*.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Ubicación geográfica	Altitud media: 2822 metros sobre el nivel del mar Latitud: 5°32'25"N Longitud: 73°21'41"O
Clima	Clasificación climática: Cfb (cálido y templado)
Temperatura	Temperatura media anual: 11.8 °C Rango anual: 5 °C a 17 °C Mes más cálido: marzo (12.2 °C) Mes más frío: julio (11.0 °C)
Precipitación	Precipitación anual promedio: 2026 mm Mes más seco: enero (114 mm) Mes más lluvioso: abril (243 mm)
Otros datos climáticos	Humedad relativa: 79% - 85% Promedio de días lluviosos al mes: 20 Horas de sol diarias: 4.0 - 5.0 (dependiendo del mes)

Tabla 3 . Características geográficas y climáticas de Tunja [13] [14] [15].

El marco teórico presentado en este proyecto es esencial para la comprensión y el éxito del diseño del sistema atrapaniebla tridimensional. Desde el concepto del atrapanieblas hasta el microcontrolador a usar y la instrumentación específica, cada aspecto teórico proporciona la base para un diseño óptimo y una implementación exitosa del sistema en el entorno climático y geográfico de Tunja. Con este enfoque teórico sólido, el proyecto se posiciona para contribuir de manera significativa a la resolución de problemas relacionados con la escasez de agua y mejorar la calidad de vida en la región.

8. *DISEÑO METODOLÓGICO*

Para realizar el sistema de caracterización del clima de forma experimental y la construcción del sistema atrapaniebla automatizado se deberá tener en cuenta el diseño metodológico, que indicará los pasos a realizar que llevarán a la completa y eficiente realización de cada uno de los objetivos ya planteados.

8.1. **Tipo de investigación**

El enfoque investigativo del sistema de estación para la caracterización del clima y el diseño del sistema atrapaniebla tridimensional corresponden a un enfoque cuantitativo debido a los siguientes puntos:

- **Recopilación de datos:** Una estación para caracterización del clima está equipada con sensores para la medición que recopilan datos cuantitativos, como la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la velocidad y dirección del viento, entre otros. Estos datos se obtienen de manera numérica y se pueden expresar en unidades de medida específicas.
- **Análisis estadístico:** Una vez recopilados los datos, se pueden aplicar técnicas estadísticas para analizar y cuantificar los patrones climáticos en Tunja. Estos análisis pueden incluir la determinación de promedios, desviaciones estándar, tendencias, correlaciones, entre otros.
- **Medición de la cantidad de niebla:** El sistema atrapaniebla automatizado está diseñado para capturar agua de la niebla presente en el ambiente. Para ello, se utilizan mallas que retienen las partículas de agua presentes en la niebla. El diseño de este sistema se basa en mediciones cuantitativas de la cantidad de agua capturada por unidad de tiempo o por área.
- **Eficiencia y rendimiento:** El diseño y construcción de un sistema atrapaniebla automatizado también implica el análisis cuantitativo de su eficiencia y rendimiento. Esto implica evaluar cuánta agua se puede capturar en relación con la cantidad de niebla disponible y otros factores, como la eficiencia de las mallas o paneles.

8.2. **Diseño y funcionamiento**

8.2.1. *Diseño de estación para caracterización del clima*

El diseño de la estación para la caracterización del clima en Tunja, se deben seleccionar sensores clave como temperatura, humedad, presión atmosférica, calidad del aire y velocidad del viento. La elección de los sensores requiere una investigación exhaustiva considerando su precisión, durabilidad, rango de medición y calibración, además de su compatibilidad con las condiciones climáticas específicas de Tunja. Se dimensionará y encapsulará la estación utilizando materiales resistentes a las condiciones climáticas. Finalmente, se realizará la puesta en marcha de la estación en un área abierta y se verificará su correcto funcionamiento antes de comenzar a recopilar datos.

8.2.2. Diseño sistema de recolección de agua con atrapaniebla

En el diseño del sistema atrapaniebla, se realiza la selección de actuadores considerando las características del sistema, como tamaño, forma y condiciones climáticas. De manera similar, se seleccionan los sensores para la calidad del agua, teniendo en cuenta los parámetros a medir, precisión, resistencia y compatibilidad con el sistema de monitoreo. Se llevan a cabo calibraciones iniciales de actuadores y sensores, así como la conexión IoT para el monitoreo en tiempo real. Finalmente, se realiza la puesta en marcha del sistema y se analizan los datos de calidad del agua para evaluar su efectividad.

8.2.3. Caracterización final del clima

Se analizarían los registros de los sensores para obtener mediciones precisas de parámetros climáticos como temperatura, humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento, radiación solar y presión atmosférica. Estos datos se procesarían y se generarían estadísticas relevantes, como promedios, mínimos, máximos y desviaciones estándar, para cada parámetro. Se compararían los datos con las tendencias climáticas históricas y se realizarían análisis comparativos a largo plazo para identificar patrones y cambios en el clima. Además, se podrían generar gráficos y visualizaciones para representar la variabilidad climática en diferentes períodos y estaciones.

8.2.4. Análisis de datos de calidad de agua

El análisis de los datos de calidad de agua arrojados por el sistema atrapaniebla implica recopilar los datos medidos por los sensores de calidad de agua (sensor de turbidez y sensor de nivel de agua) y procesarlos para obtener información útil. Los datos se analizan utilizando técnicas estadísticas y herramientas de visualización para identificar patrones, tendencias y anomalías en la calidad del agua. Se comparan los resultados con los estándares y normativas establecidas para evaluar si se cumplen los criterios deseados (Estudios a realizar por el Laboratorio “Alimentos Seguros” de la ciudad de Tunja). Este análisis continuo permitirá monitorear la efectividad del sistema atrapaniebla en la mejora de la calidad del agua y tomar decisiones informadas para mantener su funcionamiento óptimo.

Finalmente, el funcionamiento general del sistema se verá reflejado en el diagrama de bloque que se puede observar en la Ilustración 3, donde se observa el procesamiento tanto como el flujo de datos y actuadores.

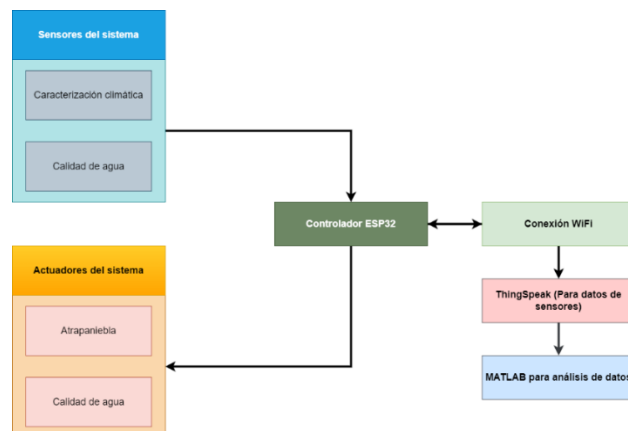


Ilustración 3. Funcionamiento del sistema atrapanieblas [Elaborado por el autor].

9. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Este proceso incluye la definición de dimensiones específicas de los componentes, como el tamaño y la forma de las mallas captadoras y la estructura que las soporta, basándose en criterios técnicos y ambientales.

9.1. Dimensionamiento de la estructura para el sistema atrapanieblas tridimensional

El dimensionamiento del atrapanieblas tridimensional se centra en una innovadora configuración geométrica donde dos estructuras se unen en un punto formando un ángulo de 90° (Ilustración 4). Este diseño busca optimizar la captación de niebla proveniente de múltiples direcciones. Al disponer las estructuras de esta manera, se incrementa la superficie efectiva de captación sin importar la dirección del viento o la niebla, lo cual es crucial para maximizar la eficiencia del sistema en diferentes condiciones climáticas.

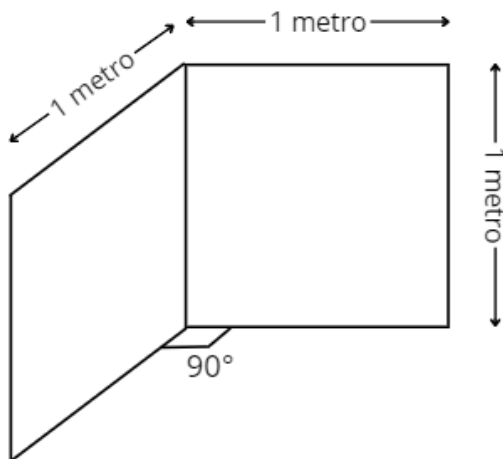


Ilustración 4. Diseño esquemático de la estructura atrapanieblas tridimensional sin soporte estructural [Elaborado por el autor].

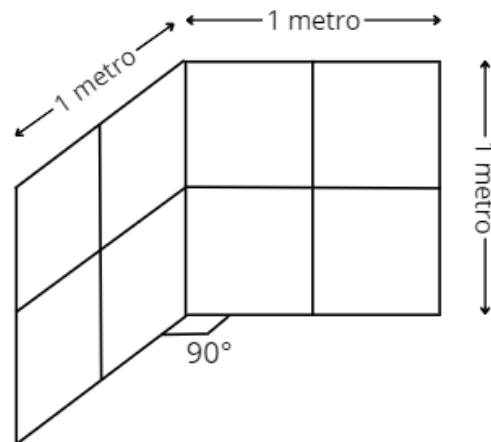


Ilustración 5. Diseño esquemático de la estructura atrapanieblas tridimensional con soporte estructural [Elaborado por el autor].

La clave de este diseño radica en su capacidad para adaptarse a variaciones en la dirección del viento y la densidad de la niebla. Al formar un ángulo de 90° , cada estructura puede capturar la niebla que se mueve hacia ella, mientras que la orientación tridimensional asegura que, prácticamente desde cualquier dirección que la niebla se acerque, parte de ella será interceptada por la poli sombra. Este enfoque mejora significativamente las tasas de recolección de agua en comparación con sistemas tradicionales que pueden no ser tan eficientes cuando las condiciones ambientales cambian.

9.1.1. Estructura y bases del sistema atrapanieblas

En una estructura de 1 metro de alto y con una base de 1 metro por lado, se le incorporan soportes que atraviesan horizontal y verticalmente, interceptándose en el centro, es una técnica eficaz para mejorar la rigidez y la resistencia ante cargas laterales, como las producidas por el viento o movimientos sísmicos (Ilustración 5).

Este diseño permite distribuir uniformemente las cargas a lo largo de la estructura, minimizando los puntos de debilidad y potenciando su capacidad para soportar esfuerzos sin sufrir deformaciones significativas. Los soportes cruzados funcionan transfiriendo las fuerzas de tensión y compresión a lo largo de su longitud, actuando eficientemente contra la flexión y la torsión. Este principio se aplica comúnmente en el diseño estructural de edificaciones y torres, donde la estabilidad es primordial. La guía de diseño estructural para torres de soporte, por ejemplo, menciona el uso de cables a diferentes distancias para generar estabilidad adicional [16], lo que refleja la importancia de la estrategia de soportes cruzados en estructuras de diversas escalas.

Para el diseño esquemático de la base, se estableció en tres puntos con el fin de dar soporte a la carga estructural, donde esos 3 soportes estarán unidos entre sí formando un triángulo rectángulo y en su parte inferior al suelo (Ilustración 6). Finalmente, en su parte superior, se anclará a la estructura que soportará el atrapanieblas (Ilustración 7)

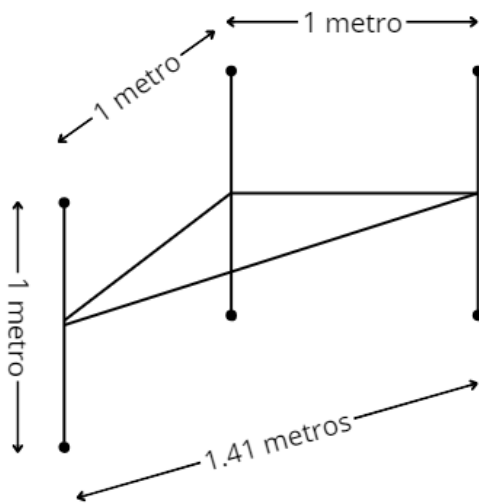


Ilustración 6. Diseño esquemático de la base para estructura atrapanieblas [Elaborado por el autor].

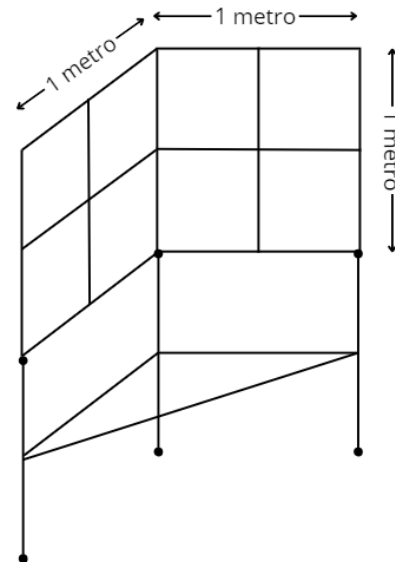


Ilustración 7. Diseño esquemático de la estructura atrapanieblas anclada su base [Elaborado por el autor].

9.1.2. Mecánica del sistema atrapanieblas

Como se observa en la ilustración 8, este sistema mecánico generalmente incluye un eje o tubo en la parte inferior de la cortina, sobre el cual se enrolla la tela de poli sombra. Dos cuerdas vistas como líneas de color verde rodearan el eje visto como un rectángulo negro en la parte inferior y la cortina vista como un cuadrado gris, con lo cual un punto de la cuerda se anclará en la parte superior y otro se anclará a un punto de referencia donde se unirán todas las cuerdas para posteriormente ser el punto principal donde se ejercerá tensión, vista como flecha verde. (Ilustración 8).

Las cuerdas están conectadas al mecanismo de enrollamiento de tal manera que, al jalarlas, generan la tensión necesaria para enrollar la cortina. Este mecanismo puede incluir un sistema de ganchos para facilitar el enrollamiento y mantener la cortina en su posición elevada (Ilustración 9).

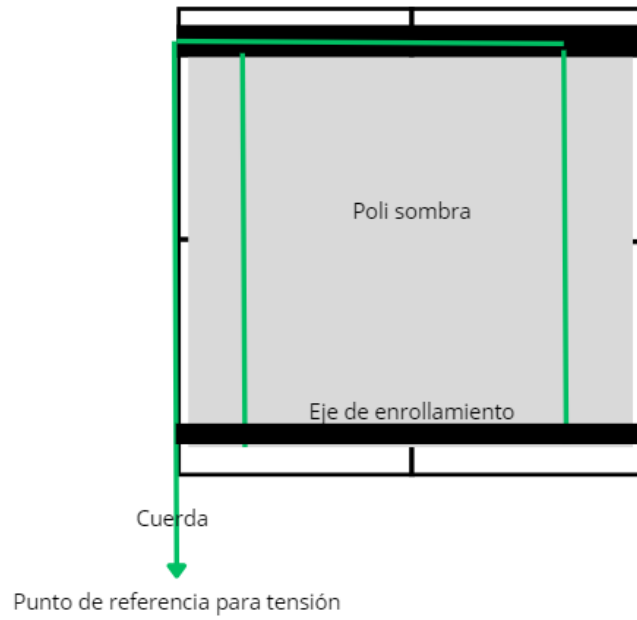


Ilustración 8. Diseño mecánico para cortina de poli sombra [Elaborado por el autor].

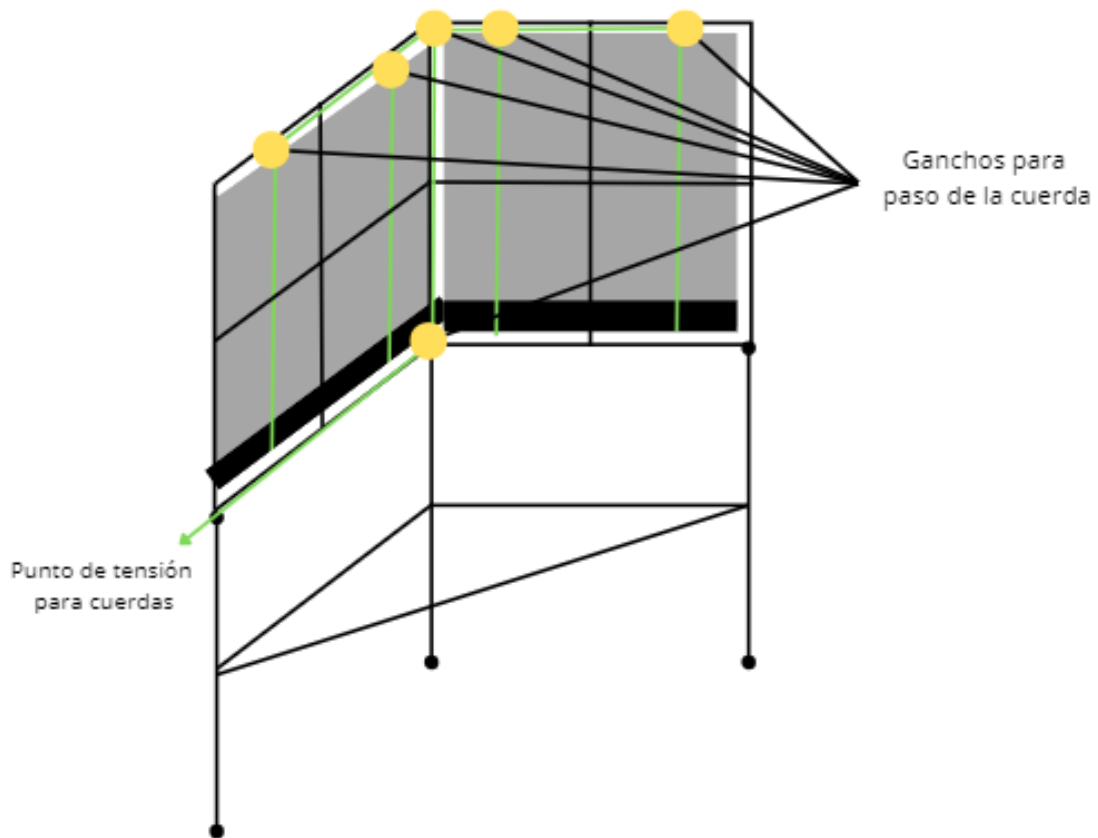


Ilustración 9. Diseño estructural con diseño mecánico para cortina de poli sombra [Elaborado por el autor].

Finalmente se añadirán canaletas en la parte donde descansa la cortina cuando se encuentra totalmente abajo, esto con el fin de mantener la recolección del agua a un solo punto (Ilustración 10). Las canaletas poseerán un desnivel.

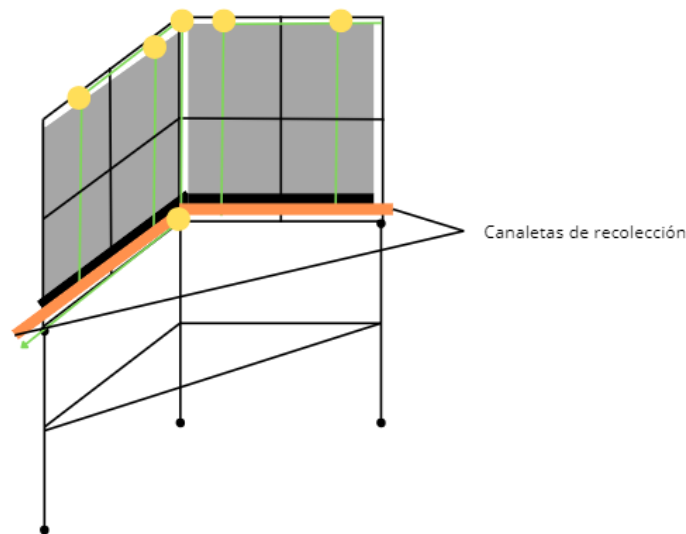


Ilustración 10. Esquema estructural completo del atrapaniebla

9.1.3. Montaje de la estructura del sistema atrapanieblas

Teniendo en cuenta que se debe tener rigidez en la estructura, se procede a establecer cada uno de los puntos de unión en la estructura y las demás piezas importantes para la rigidez estructural (Ilustración 11 e Ilustración 12). Se debe tener en cuenta que las piezas que no se denotan serán tubos de PVC de ½”.

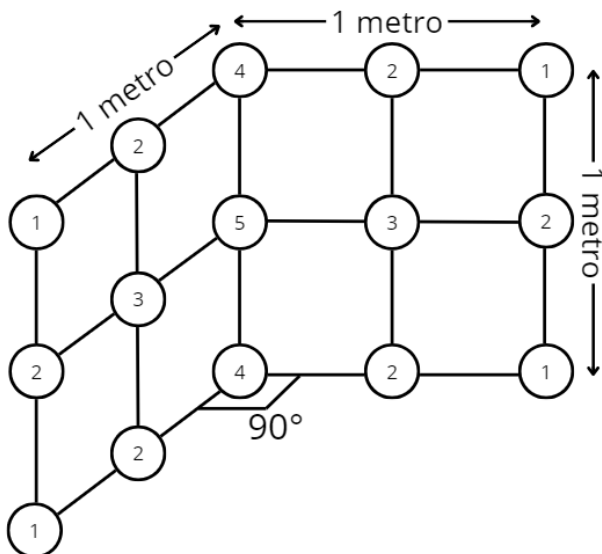


Ilustración 11. Diseño esquemático de la estructura simple del atrapanieblas con soporte estructural y numeración de uniones [Elaborado por el autor].

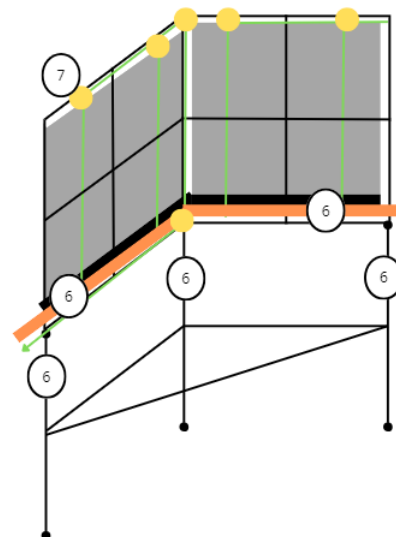


Ilustración 12. Diseño esquemático de la estructura atrapanieblas con soporte estructural y numeración de uniones [Elaborado por el autor].

Cada una de las uniones respectivas se pueden observar en la siguiente tabla:

ID	NOMBRE	REFERENCIA DE IMAGEN
1	Codo PVC ½"	Véase Ilustración 13
2	Unión T PVC ½"	Véase Ilustración 14
3	Unión Cruz recta ½"	Véase Ilustración 15
4	Unión 90° x3 espacios ½"	Véase Ilustración 16
5	Unión Cruz 90° x4 espacios ½"	Véase Ilustración 17
6	Tubo de PVC 1 ½"	Véase Ilustración 18
7	Ganchos polea	Véase Ilustración 19

Tabla 4. Referencia de numeración para uniones en estructura de atrapanieblas tridimensional con soporte estructural [Elaborado por el autor].



Ilustración 13. Codo PVC ½" [Generado por IA].



Ilustración 14. Unión T PVC ½" [Generado por IA].



Ilustración 15. Unión Cruz recta ½" [Generado por IA].



Ilustración 16. Unión 90° x3 espacios ½" [Generado por IA].



Ilustración 17. Unión Cruz 90° x4 espacios ½" [Generado por IA].



Ilustración 18. Tubo de PVC 1 ½" [Generado por IA].



Ilustración 19. Ganchos polea [Generado por IA].

Por último, se integran todas las partes para diseñar el sistema. Se debe tener en cuenta que al ser una estructura que puede ser cambiada dependiendo del terreno y la zona climática, puede verse afectada por varios cambios, como la implementación de distintos tornillos, arandelas y tuercas para asegurar con más firmeza y consistencia sobre la carga en la estructura, por lo que el sistema estructural tratará de asemejarse lo más posible al diseño esquemático planteado, así como se muestra en la Ilustración 20 e Ilustración 21.



Ilustración 20. Estructura sistema atrapanieblas vista frontal.



Ilustración 21. Estructura sistema atrapanieblas vista trasera.

9.2. Dimensionamiento de la estructura para estación climatológica y sistema de lectura de calidad de agua

Se abordará el diseño y construcción específicos de la infraestructura necesaria para la implementación de la estructura que albergará la estación climatológica y el sistema de lectura para la calidad del agua. Se detallarán las dimensiones óptimas y características estructurales, considerando la incorporación de rendijas para la ventilación adecuada, tal como se menciona en el diseño y construcción de una estación meteorológica.

9.2.1. Diseño de la estructura de la estación climatológica

Se construye una estructura básica que soporte los movimientos y pueda anclarse de manera sencilla al suelo con el fin de darle mayor estabilidad. Debido a que solo servirá de soporte de elementos pequeños como los son distintos sensores y servirá para el anclaje del sistema de toma de agua para lectura de calidad de agua, se realiza un diseño sencillo que bastará para el montaje del dispositivo (Ilustración 22).

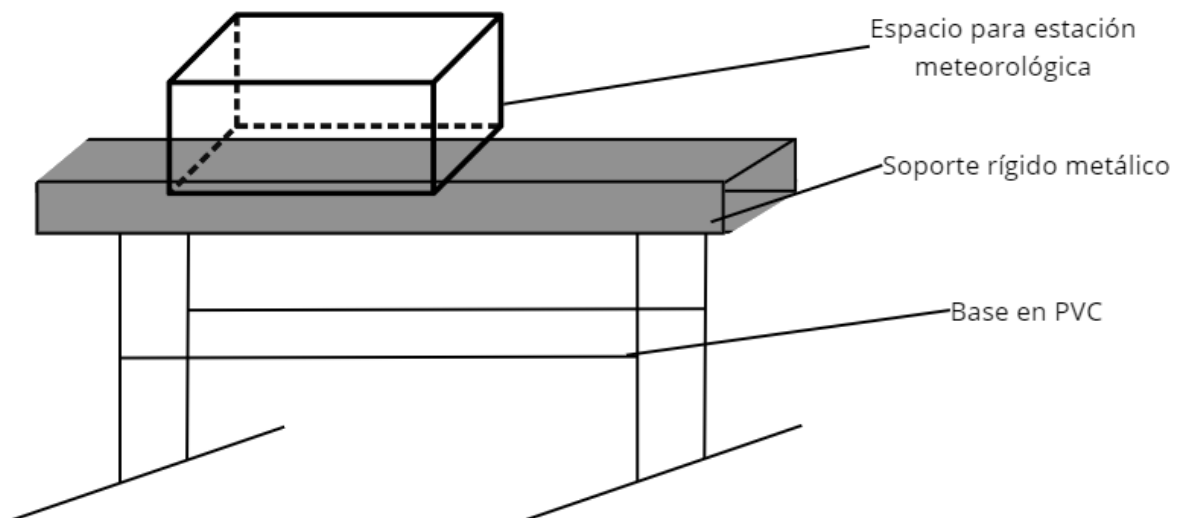


Ilustración 22. Diseño estructural básico de la estación climatológica [Elaborado por el autor].

9.2.2. Diseño de la estructura del sistema de recolección de agua para lectura de calidad de agua

Igualmente que para la estructura de la estación climatológica, se añadirá el sistema de recolección a esa estructura, por lo que se realiza una implementación sencilla del sistema que permitirá un espacio donde se tomara muestras del agua, otro espacio de desvío de agua como sistema de emergencia para protección de los sensores, un espacio para una electroválvula que permita el paso o cierre de agua después de tomar muestras y un espacio para almacenamiento y posterior análisis de agua en laboratorio (Ilustración 23).

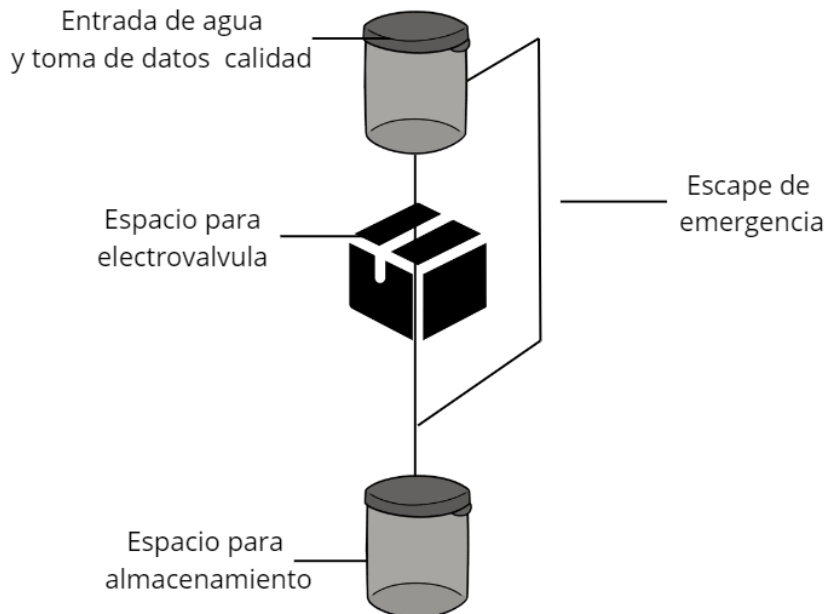


Ilustración 23. Estructura para sistema de recolección de agua y lectura de calidad de agua [Elaborado por el autor].

9.2.3. Montaje de la estructura del sistema de estación climatológica y toma de agua para calidad de agua

Ya mencionado anteriormente, el diseño y montaje de esta estructura se tuvo con indicaciones básicas, teniendo en cuenta solo el soporte y rigidez de la estructura ya mencionada, por lo que se realiza un montaje teniendo en cuenta diferentes uniones de PVC y una estructura rígida metálica (Ilustración 24).

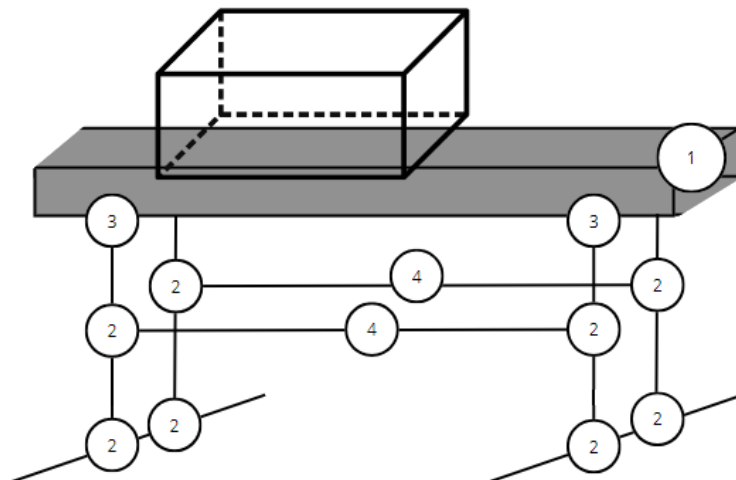


Ilustración 24. Diseño esquemático de la estructura de la estación climatológica con soporte estructural y numeración de uniones [Elaborado por el autor].

A continuación, se mostrarán la tabla las piezas referentes a la Ilustración 22, teniendo en cuenta que las demás piezas constarán de tubo PVC de ½”.

ID	NOMBRE	REFERENCIA DE IMAGEN
1	Perfil rectangular de aluminio	Véase Ilustración 25
2	Unión T PVC ½"	Véase Ilustración 14
3	Codo PVC ½"	Véase Ilustración 13
4	Unión PVC lisa ½"	Véase Ilustración 26

Tabla 5. Referencia de numeración para uniones en estructura de la estación climatológica con soporte estructural [Elaborado por el autor].



Ilustración 25. Perfil rectangular de aluminio [Generado por IA].



Ilustración 26. Unión PVC lisa ½" [Generado por IA].

Para el diseño del sistema de recolección de agua y medición de calidad de agua, se tuvo en cuenta que este estará anclado al soporte estructural de la estación meteorológica, por lo que se procedió a usar tubos de PVC ½" ya usados anteriormente para el flujo del agua, de esta manera mantener la integridad y calidad que posee el fluido (Ilustración 27).

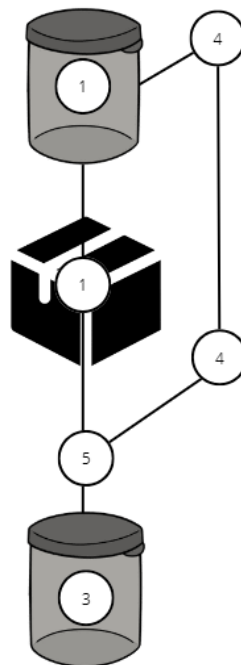


Ilustración 27. Diseño esquemático de la estructura para recolección de agua, medición de calidad de agua y numeración de uniones [Elaborado por el autor].

A continuación, se mostrarán la tabla las piezas referentes a la Ilustración 27, teniendo en cuenta que las demás piezas constarán de tubo PVC de ½”.

ID	NOMBRE	REFERENCIA DE IMAGEN
1	Recipiente plástico cilíndrico	Véase Ilustración 28
2	Recipiente plástico cuadrado para electroválvula	Véase Ilustración 29
3	Recipiente botellón para agua	Véase Ilustración 30
4	Codo PVC ½”	Véase Ilustración 13
5	Unión T PVC ½”	Véase Ilustración 14

Tabla 6. Referencia de numeración para uniones en estructura para recolección de agua y medición de calidad de agua [Elaborado por el autor].



Ilustración 28. Recipiente plástico cilíndrico [Generado por IA].



Ilustración 29. Recipiente plástico cuadrado [Generado por IA].



Ilustración 30. Recipiente botellón para agua [Generado por IA].

Por último, se integran todas las partes para diseñar el sistema. Se debe tener en cuenta que al ser una estructura que puede ser cambiada dependiendo del terreno y la zona climática, puede verse afectada por varios cambios, como la implementación de distintos tornillos, arandelas y tuercas para asegurar con más firmeza y consistencia sobre la carga en la estructura, por lo que el sistema estructural tratará de asemejarse lo más posible al diseño esquemático planteado, así como se muestra en la Ilustración 31 e Ilustración 32.



Ilustración 31. Estructura para la estación climatológica y calidad de agua.



Ilustración 32. Estructura para el sistema de almacenamiento de agua y obtención de datos para calidad de agua.

9.3. Dimensionamiento sistema electrónico y sensores

El diseño de una red de monitoreo de calidad y cantidad de agua, incluida la estación climatológica y el sistema de lectura de calidad de agua, requiere un enfoque integrado que considere tanto las variables climáticas como las de calidad del agua. Para el dimensionamiento de la estructura de una estación climatológica, es esencial considerar las observaciones de variables fundamentales como la precipitación, temperatura del aire, y temperaturas máximas y mínimas. Esto asegura la recopilación de datos relevantes para analizar patrones climáticos y su impacto en los recursos hídricos.

En cuanto al sistema de lectura de calidad de agua, el plan de monitoreo debe definir las variables críticas a medir, que pueden incluir parámetros físicos, químicos y biológicos, para evaluar el estado de los cuerpos de agua. Esto implica establecer estaciones que registren estas variables en el tiempo y operen dentro de un sistema interconectado, asegurando una cobertura amplia y datos confiables para la toma de decisiones. Las especificaciones técnicas para el emplazamiento de las estaciones meteorológicas y sus instrumentos son cruciales para el éxito del monitoreo. Estas especificaciones abarcan desde la selección del sitio hasta la instalación de equipos, garantizando que la recopilación de datos sea representativa y de alta calidad.

9.3.1. Dimensionamiento del sistema de potencia

Típicamente se centra en asegurar una fuente de energía confiable y eficiente para alimentar los componentes electrónicos, incluidos los sensores, válvula de control y motorreductores. Los pasos para el dimensionamiento incluyen:

- Conexión a red AC.
- Sistema de almacenamiento de emergencia por desconexión a la red.
- Salida de voltaje 5V para sensores y microcontrolador.
- Salida de voltaje 12V para electroválvula y motorreductores.

Teniendo esto en cuenta estos parámetros, se procede a diseñar el sistema eléctrico conociendo que se usaran los siguientes dispositivos:

NÚMERO	NOMBRE	FUNCIÓN
1	Convertidor AC DC 19.5V 9A	Convertir la corriente alterna en directa para su posterior uso.
2	Reductor DC-DC 5A	Reducir de 19.5V a 16.7 V para el dispositivo de almacenamiento.
3	Carga y descarga de 4 Celdas litio	Dispositivo que permite la carga y descarga segura de celdas de litio.
4	Celdas de Litio 4 en serie 2 en paralelo	Permite el almacenamiento de energía eléctrica, referencia 18650, cada una de 3.7V a 4.2V, con una capacidad de 2.8 A.
5	Reductor DC-DC 5A	Reduce el voltaje de la salida del cargador de las baterías de litio de 17 V a 12V.
6	Reductor DC-DC 2A	Reduce el voltaje de la salida del cargador de las baterías de litio de 17 V a 5V.

Tabla 7. Elementos eléctricos para el sistema de potencia [Elaborado por el autor].

Más claramente, se puede observar el esquema por diagrama de bloques del sistema de potencia, según el número de referencia, mostrados como el elemento básico en la Ilustración 33.

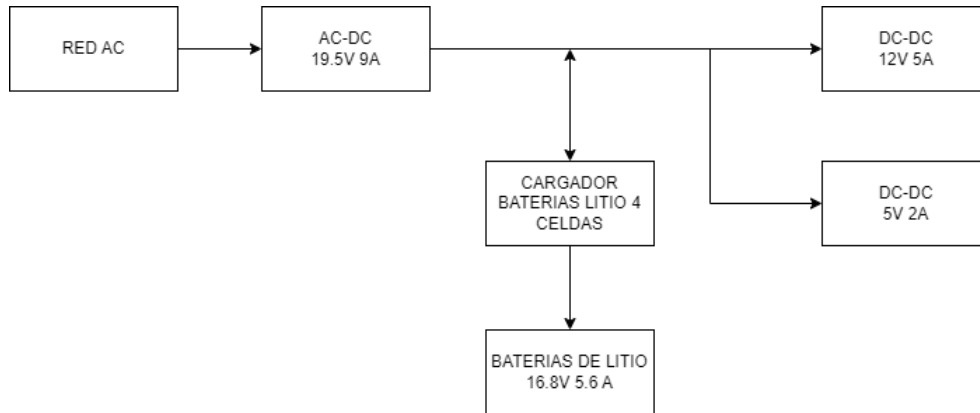


Ilustración 33. Diagrama de bloques del sistema eléctrico de potencia [Elaborado por el autor].

9.3.2. Dimensionamiento del sistema de estación meteorológica y calidad de agua

La Tabla 8, detalla un sistema de sensores para monitorear condiciones climáticas, calidad y nivel de agua, así como la eficiencia de un atrapa niebla mediante varios sensores distribuidos en diferentes módulos. Cada sensor tiene asignado un ID único, pines específicos de conexión, y está asociado a un módulo particular para recopilar distintos tipos de datos ambientales y del agua, tales como temperatura (exterior e interior), humedad, presión atmosférica, altitud, partículas de CO₂, velocidad del viento, nivel y temperatura del agua, turbidez, y conductividad del agua. Todo el diseño está basado en un sistema microcontrolador ESP32.

ID	PINES	MODULO	DATOS
1	5 - 18 - 19	MAX6675	Temperatura externa
2	23	DHT11	Humedad
			Temperatura interna 1
3	22 - 21	BMP280	Temperatura interna 2
			Presión atmosférica
			Altitud
4	34	MQ135	Partículas de CO ₂
5	32	WH-SP-WS01	Velocidad del viento
6	33	Nivel Genérico	Nivel del Agua
7	15	DS18B20	Temperatura del Agua
8	35	TSW-20M	Turbidez del Agua
9	16	SEN0244	Conductividad del Agua
10	2	HC-020K	Encoder

Tabla 8. Sensores usados en el sistema de estación meteorológica y calidad de agua [Elaborado por el autor].

Estación climatológica:

- Temperatura Exterior: Medida por el sensor MAX6675, ubicado en los pines 5, 18, y 19, mide la temperatura exterior en grados Celsius (°C).

- Humedad y Temperatura Interior 1: El sensor DHT11, conectado al pin 23, mide tanto la humedad relativa (%) como la temperatura interior en °C.
- Temperatura Interior 2, Presión Atmosférica, y Altitud: Utilizando el BMP280 en los pines 22 y 21, este módulo mide una segunda temperatura interior en °C, la presión atmosférica en Pascales (Pa), y la altitud en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).
- Partículas de CO₂: El MQ135 en el pin 34 se encarga de medir las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en partes por millón (ppm).
- Velocidad del Viento: Medida por el WH-SP-WS01 conectado al pin 32, se registra la velocidad del viento en metros por segundo (m/s).

Calidad del agua:

- Nivel del Agua: Un "Nivel Genérico" sensor en el pin 33 mide el nivel de agua en centímetros cúbicos (cm³).
- Temperatura del Agua: El sensor DS18B20, ubicado en el pin 15, registra la temperatura del agua en grados Celsius (°C).
- Turbidez del Agua: Utilizando el TSW-20M en el pin 35, se mide la turbidez del agua en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).
- Conductividad del Agua: El SEN0244, conectado al pin 16, mide la conductividad del agua en microsiemens por centímetro (uS/cm).

Cortina poli sombra:

- Encoder: Con este módulo, podemos conocer las vueltas que se generan al enrollar la cortina, con el fin de conocer el punto de inicio y final de la cortina. Se mide en pulsos totales.

9.3.3. Sistema de actuadores

Este sistema de actuadores está basado en la alimentación de 12V en el diagrama de bloques eléctricos (Ilustración 33).

ID	NOMBRE	MODULO
1	MOTORES	PUENTE H L298
2	ELECTROVALVULA	Electroválvula Solenoide

Tabla 9. Actuadores usados en el sistema [Elaborado por el autor].

Electroválvula para el paso de agua: Conectado a un relé, que se al activarse, se energiza con 12V, para permitir el paso del agua.

Puente H para el control de motorreductores: Conectado a un relé, que al activarse se alimenta con 12V a la espera de las señales para el flujo de corriente en los motores.

9.3.3. Sistema comunicación

Módulo MiFi: Un módulo MiFi (Ilustración 34) funciona como un punto de acceso portátil que permite a varios dispositivos conectarse a Internet a través de una red móvil. Utiliza una SIMcard (en este caso, una de Claro) para acceder a la red móvil y crear una red WiFi local a la que se contactará el ESP32.



Ilustración 34. Modulo MiFi usado para la conexión a red de internet.

9.3.4. Montaje del sistema electrónico y de potencia

Todo el sistema de potencia, de comunicación y de sensores se montó en una caja resistente a temperaturas altas y que protege del agua, teniendo en cuenta que se dispuso de dos plataformas de láminas de acrílico de 15cm x 15cm en los cuales en el nivel más bajo se dejó el sistema de potencia y en el nivel más alto se puso el sistema microcontrolador, sensores y módulo de comunicación (Ilustración 35). También, se diseñó dos espacios para la ventilación para poder adquirir los datos correctamente del exterior y así, obtener los datos reales (Ilustración 36).

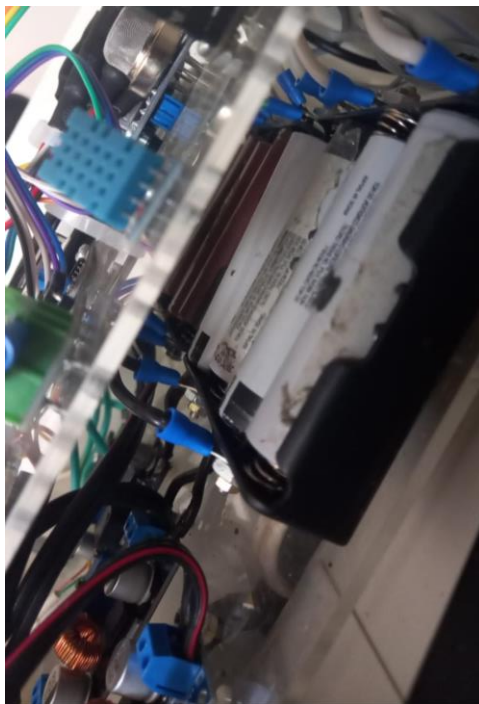


Ilustración 35. Sistema de potencia en nivel bajo.



Ilustración 36. Sistema completo de electrónica y potencia, con espacios de ventilación.

10. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El funcionamiento del sistema está dado por el programa realizado en C en la plataforma de Arduino IDE, donde se tienen ciertos pasos para su funcionamiento (Véase Anexo 1 para código del microcontrolador):

1. Se iniciarán todos los sensores con la configuración establecida.
2. Establecerá una conexión a internet.
3. Comenzará la lectura de 10 datos por característica y encontrará un promedio.
4. Enviará los datos de caracterización ambiental a la página Thingspeak de MATLAB.
5. Enviará un mensaje de aprobación de envío de datos correctos.
6. Enviará los datos de calidad del agua a la página Thingspeak de MATLAB.
7. Enviará un mensaje de aprobación de envío de datos correctos.
8. Verificará la cantidad de agua obtenida para abrir paso a almacenarla.
9. Lectura de las horas correspondientes para subir o bajar cortina.
10. Verificará la hora para subir, bajar o no realizar ninguna acción a la cortina.
11. Enviará un mensaje del estado de la cortina.

Name ↕	Created ↕	Updated ↕
CARACTERIZACIÓN AGUA Private Public Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2024-01-24	2024-03-09 15:17
CARACTERIZACIÓN AMBIENTE Private Public Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2024-02-05	2024-02-05 02:29
SISTEMA Private Public Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2024-02-06	2024-03-07 14:34

Ilustración 37. Canales de recepción de datos de Thingspeak MATLAB.

Se debe tener en cuenta que cada canal tiene un ID de referencia y un código para aceptar los datos, y dependiendo del Field que se le especifique, este almacenará los datos. Cada canal permite almacenar hasta 8 variables diferentes y un máximo de 8000 datos (Ilustración 37 e Ilustración 38).



Ilustración 38. Canal de caracterización ambiente, donde se observa el Field de temperatura exterior y humedad.

Para mayor claridad, véase la siguiente tabla (Tabla 10), donde se especifica los datos a enviar y el canal respectivo a donde se enviará:

DATO	DATOS	CANAL	FIELD
1	Temperatura externa	Caracterización ambiente	1
2	Humedad	Caracterización ambiente	2
3	Temperatura interna 1	Caracterización ambiente	3
4	Temperatura interna 2	Caracterización ambiente	4
5	Presión atmosférica	Caracterización ambiente	5
6	Altitud	Caracterización ambiente	6
7	Partículas de CO2	Caracterización ambiente	7
8	Velocidad del viento	Caracterización ambiente	8
9	Nivel del Agua	Caracterización agua	1
10	Temperatura del Agua	Caracterización agua	2
11	Turbidez del Agua	Caracterización agua	3
12	Conductividad del Agua	Caracterización agua	4
13	Hora 1 (control maestro)	Sistema	1
14	Hora 2 (control maestro)	Sistema	2
15	Estado cortina	Sistema	3

Tabla 10. Correspondencia de datos en canales de Thingspeak [Elaborado por el autor].

Se debe tener en cuenta en la Tabla 10, que los datos de Hora 1 y Hora 2 serán enviados por el usuario si se requiere enviar, ya que, según la caracterización ambiental, se puede deducir otro tipo de horario más apto para la recolección de agua niebla.

Otro punto importante es que los 3 canales poseen un espacio especial que permiten enviar de forma textual, el cual se usó para corroborar los envíos de información, la hora exacta en la que el sistema se encuentra, y otra anotación importante como se observa en la Ilustración 39 e Ilustración 40.



Ilustración 39. Field de status de texto para canal de caracterización ambiente.

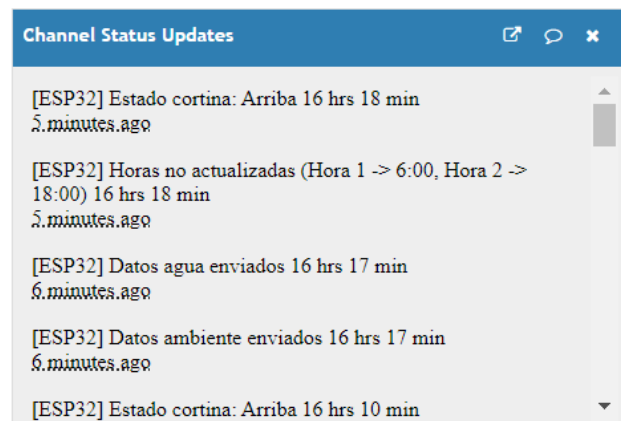


Ilustración 40. Field de status de texto para canal de Sistema.

11. CALIBRACION DE LOS SENSORES

La calibración de sensores es un proceso esencial para asegurar mediciones precisas y confiables. Este proceso implica ajustar la salida del sensor para que coincida con un estándar o una referencia conocida. Se realiza en varios pasos:

- Se expone el sensor a un ambiente controlado o a una serie de condiciones conocidas.
- Se registran las salidas del sensor para estas condiciones conocidas.
- Se comparan estas salidas con los valores reales o esperados.
- Se ajustan los parámetros del sensor o se desarrolla una ecuación de calibración para corregir cualquier discrepancia.

El cálculo del promedio de los datos obtenidos de los sensores ayuda a reducir el ruido y mejorar la precisión de las mediciones. El promedio puede ser simple o ponderado, dependiendo de la importancia relativa de los datos.

El cálculo del error se realiza para determinar la precisión de las mediciones del sensor. El error puede ser absoluto o relativo y se calcula como la diferencia entre el valor medido y el valor real o esperado. Este cálculo es crucial para evaluar el rendimiento de los sensores y para la toma de decisiones basada en datos.

La calibración de los sensores disponibles se realizó en el Laboratorio Alimentos Seguros ubicado en la ciudad de Tunja, donde se realizó la documentación respectiva en el laboratorio (Ver Anexo 2 para ver los documentos de calibración pertinentes), con lo cual se toma evidencia de la calibración en el laboratorio, como se observa en la Ilustración 41 e Ilustración 42.



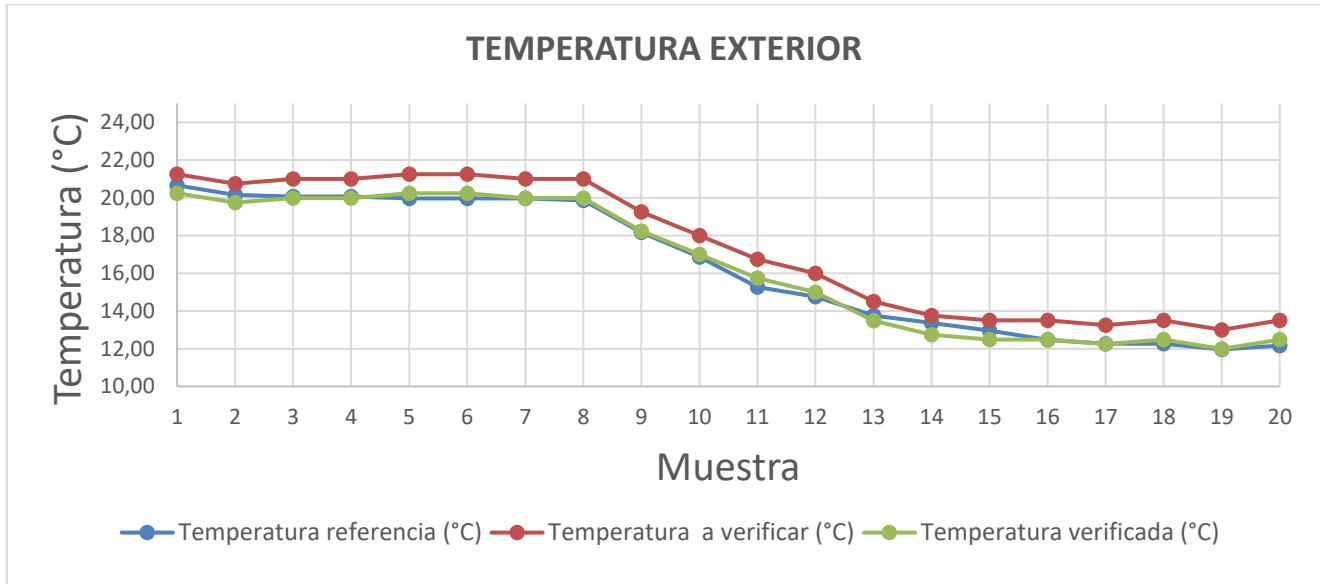
Ilustración 41. Evidencia 1 de calibración de sensores.



Ilustración 42. Evidencia 2 de calibración de sensores.

11.1. Calibración dato Temperatura exterior

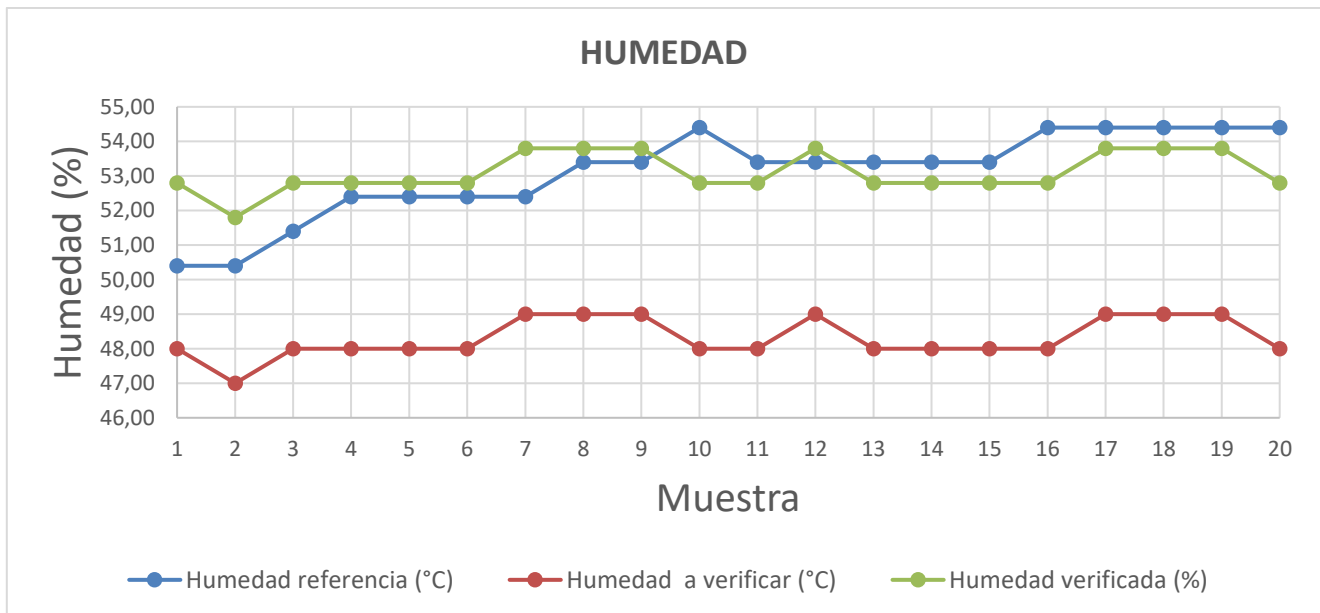
Para el dato de temperatura exterior, se encuentra un error de $-1.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ respecto al del laboratorio, además se muestra la gráfica de temperaturas como las tomadas y la corregida con el error encontrado (Gráfica 1).



Gráfica 1. Tendencia de dato temperatura exterior para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor].

11.2. Calibración dato Humedad

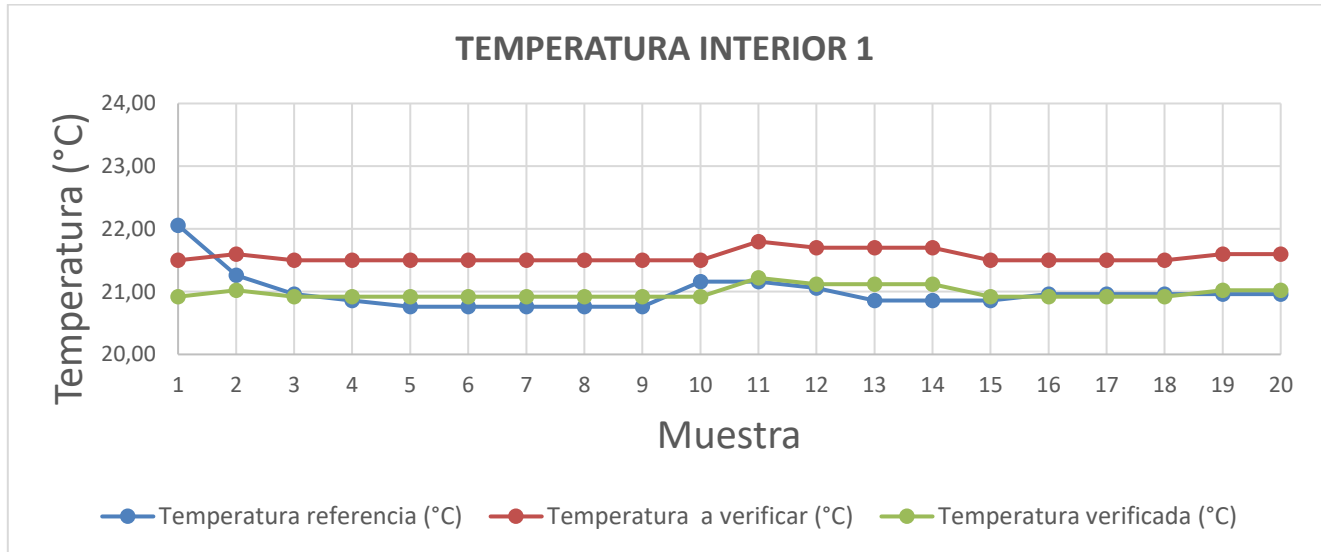
Para el dato de humedad, se encuentra un error de 4.80% respecto al del laboratorio, además se muestra la gráfica de temperaturas como las tomadas y la corregida con el error encontrado (Gráfica 2).



Gráfica 2. Tendencia de dato humedad para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor].

11.3. Calibración dato Temperatura interior 1

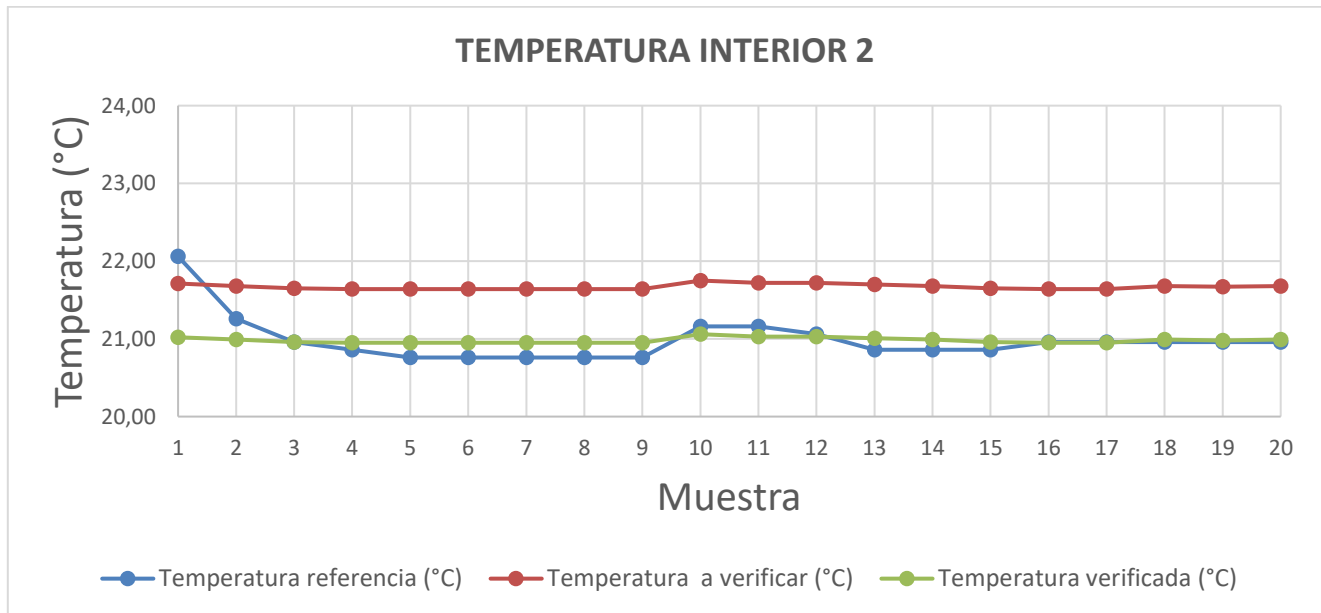
Para el dato de temperatura 1, se encuentra un error de $-0.58\text{ }^{\circ}\text{C}$ respecto al del laboratorio, además se muestra la gráfica de temperaturas como las tomadas y la corregida con el error encontrado (Gráfica 3).



Gráfica 3. Tendencia de dato temperatura interior 1 para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor].

11.4. Calibración dato Temperatura interior 2

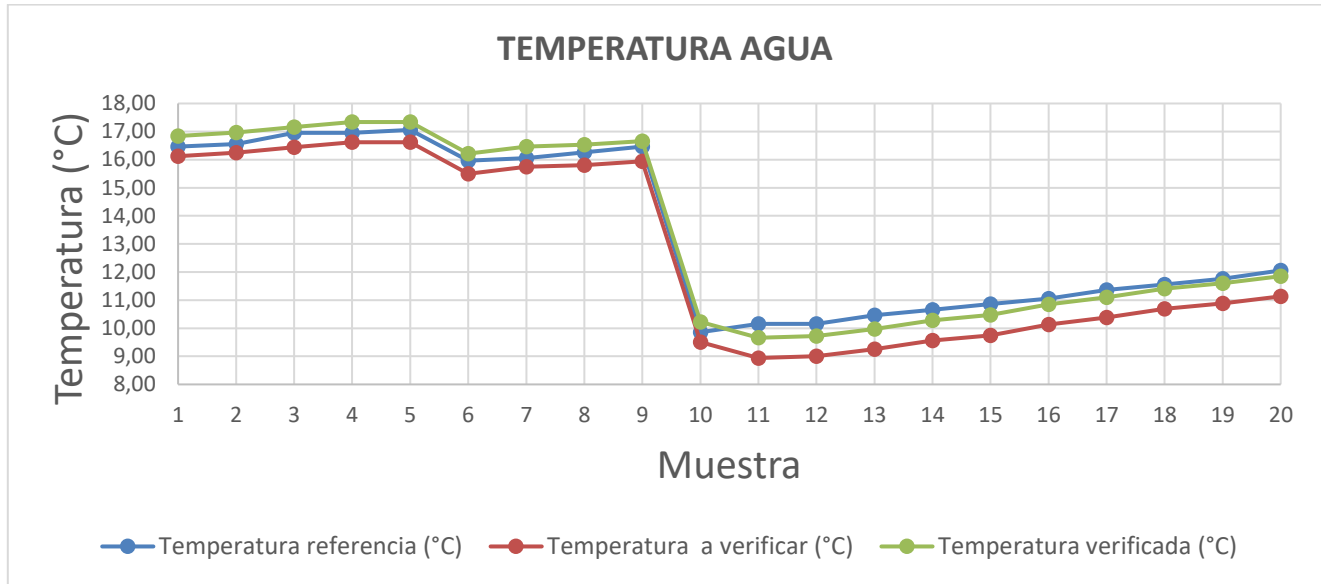
Para el dato de temperatura interior 2, se encuentra un error de $-0.69\text{ }^{\circ}\text{C}$ respecto al del laboratorio, además se muestra la gráfica de temperaturas como las tomadas y la corregida con el error encontrado (Gráfica 4).



Gráfica 4. Tendencia de dato temperatura interior 2 para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor].

11.5. Calibración dato Temperatura agua

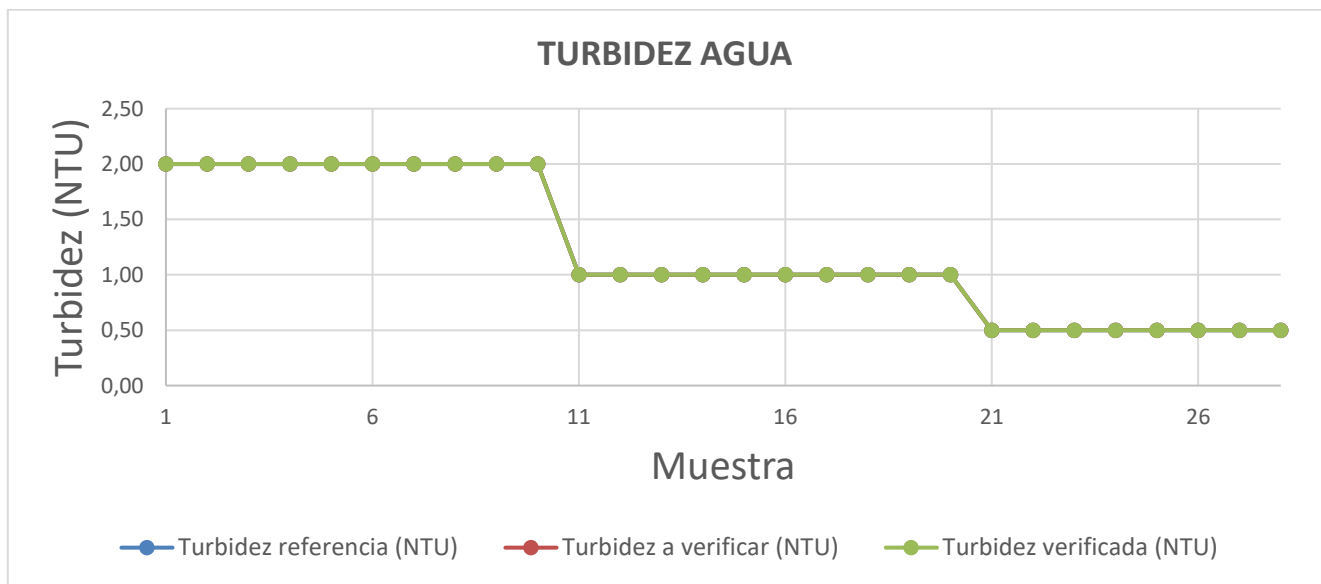
Para el dato de temperatura agua, se encuentra un error de 0.72 °C respecto al del laboratorio, además se muestra la gráfica de temperaturas como las tomadas y la corregida con el error encontrado (Gráfica 5).



Gráfica 5. Tendencia de dato temperatura agua para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor].

11.6. Calibración dato Turbidez agua

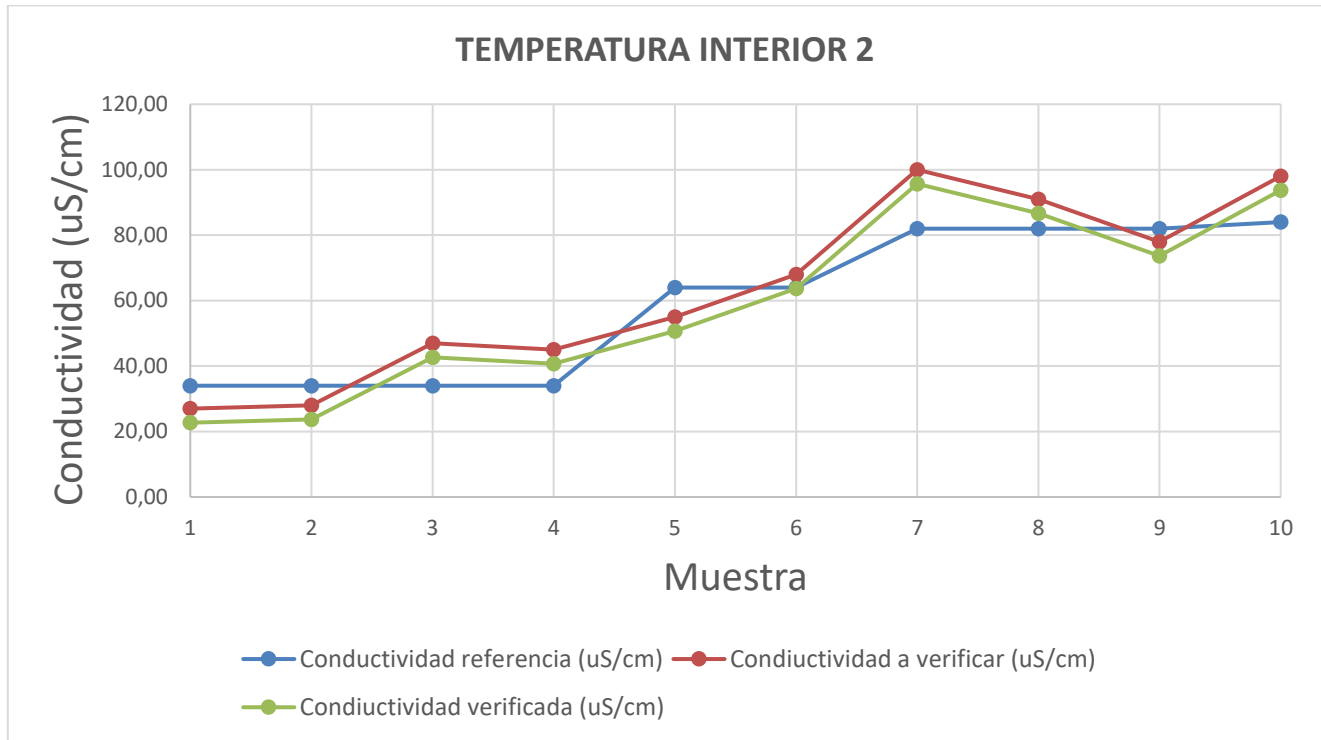
Para el dato de Turbidez agua, se encuentra un error de 0.0 NTU respecto al del laboratorio, además se muestra la gráfica de temperaturas como las tomadas y la corregida con el error encontrado (Gráfica 6).



Gráfica 6. Tendencia de dato turbidez agua para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor].

11.7. Calibración dato Conductividad agua

Para el dato de Conductividad agua, se encuentra un error de -4.3 uS/cm respecto al del laboratorio, además se muestra la gráfica de temperaturas como las tomadas y la corregida con el error encontrado (Gráfica 7).



Gráfica 7. Tendencia de dato Conductividad agua para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor].

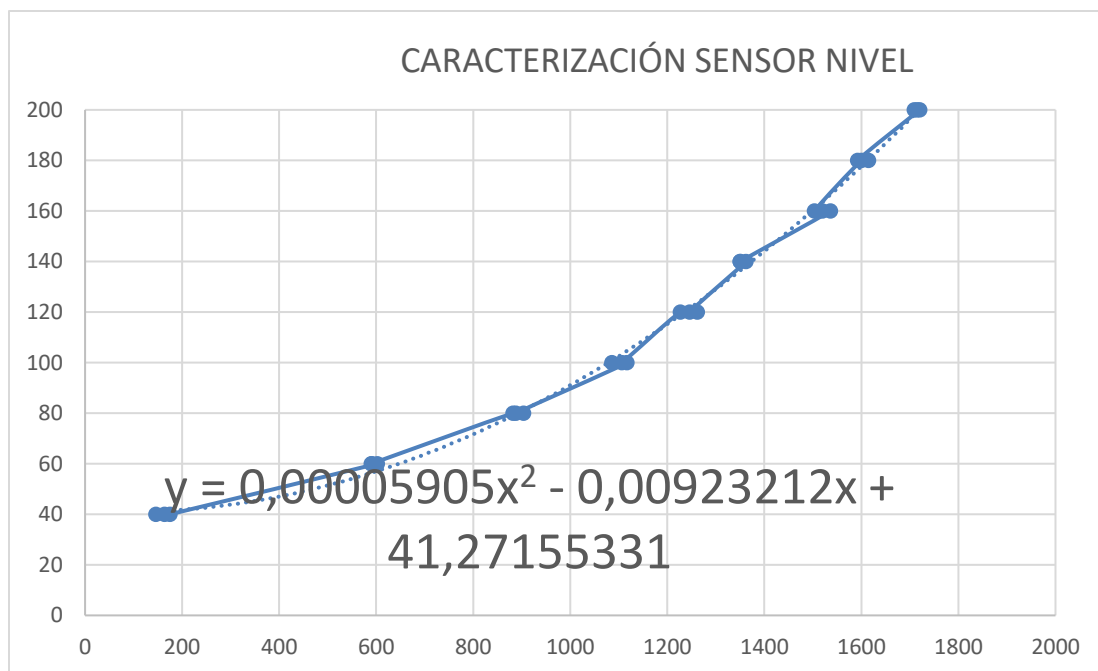
11.8. Caracterización dato Nivel agua

Para la caracterización del sensor, se tomaron varias medidas para poder obtener la ecuación características del sensor y así obtener el valor real en mL, los datos se tomaron como se observa en la Tabla 11, y se encontró la ecuación característica como se observa en la Gráfica 8.

MUESTRA	VALOR ANALOGO	VALOR mL
1	146	40
2	164	40
3	175	40
4	602	60
5	591	60
6	590	60
7	882	80
8	904	80
9	888	80
10	1117	100

11	1086	100
12	1106	100
13	1227	120
14	1262	120
15	1246	120
16	1362	140
17	1350	140
18	1350	140
19	1536	160
20	1520	160
21	1503	160
22	1600	180
23	1615	180
24	1592	180
25	1720	200
26	1715	200
27	1709	200

Tabla 11. Toma de datos para caracterización del sensor de nivel de agua [Elaborado por el autor].



Grafica 8. Gráfica y ecuación característica del sensor de nivel [Elaborado por el autor].

12. PUESTA EN MARCHA

El dispositivo se puso en marcha en el kilómetro 25 vía Tunja – Arcabuco, zona donde dispondrá de un clima apto, ya que posee alta densidad de niebla en las noches, el sistema se ancla al suelo, con el fin de obtener mayor firmeza de las estructuras (Ilustración 43 e Ilustración 44).



Ilustración 43. Evidencia de puesta en marcha del sistema atrapanieblas tridimensional, vista frontal.



Ilustración 44. Evidencia de puesta en marcha del sistema atrapanieblas tridimensional, vista trasera.

Cabe recalcar que se dispone en una casa aledaña de luz eléctrica, por lo que el sistema se encuentra energizado.

13. ANALISIS DE DATOS

13.1. Toma de datos

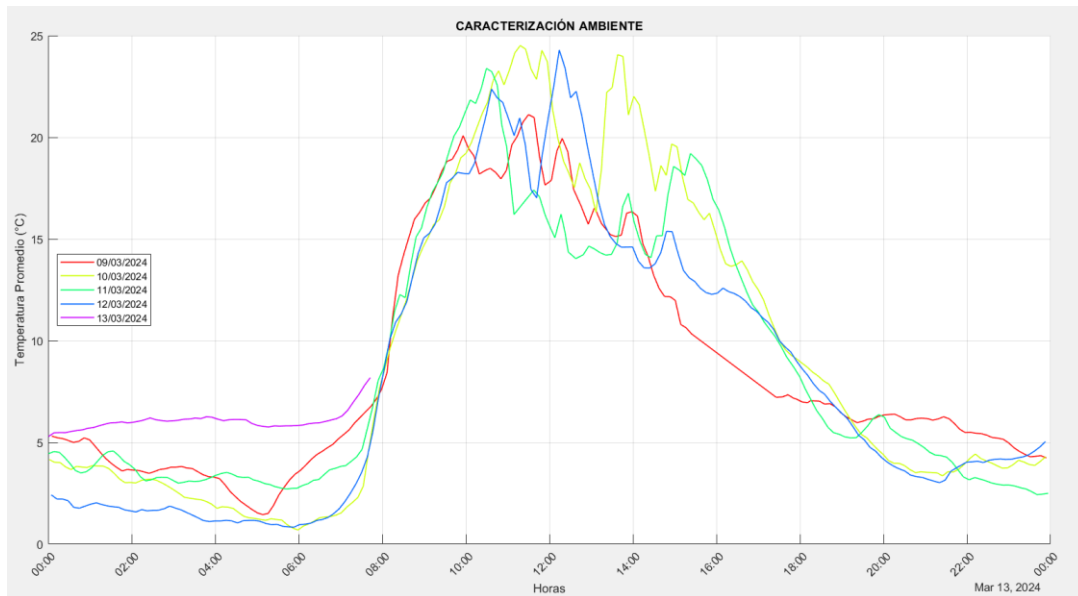
Para motivos prácticos se tomó la información de Thingspeak en los canales respectivos, y se ordenó gráficamente por días, siendo así la obtención y arreglo de los siguientes datos importantes:

NOMBRE DE LOS DATO	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA GRÁFICA
Temperatura Promedio	Se obtiene la temperatura promedio de la temperatura exterior, temperatura interior 1 y temperatura interior 2. Se muestran los datos por hora, con diferencia de color por días con su marcado de leyenda para diferenciar entre los datos.	Grafica 9
Humedad	Se muestran los datos por hora de la Humedad relativa, con diferencia de color por días con su marcado de leyenda para diferenciar entre los datos.	Grafica 10
Presión Atmosférica	Se muestran los datos por hora de la Presión Atmosférica con diferencia de color por días con su marcado de leyenda para diferenciar entre los datos.	Grafica 11
Partículas de CO2	Se muestran los datos por hora de las Partículas de CO2 con diferencia de color por días con su marcado de leyenda para diferenciar entre los datos.	Grafica 12
Velocidad del viento	Se muestran los datos por hora de la Velocidad del viento con diferencia de color por días con su marcado de leyenda para diferenciar entre los datos.	Grafica 13
Temperatura del agua	Se muestran los datos por hora de la Temperatura del agua con diferencia de color por días con su marcado de leyenda para diferenciar entre los datos.	Grafica 14
Turbidez del agua	Se muestran los datos por hora de la Turbidez del agua con diferencia de color por días con su marcado de leyenda para diferenciar entre los datos.	Grafica 15

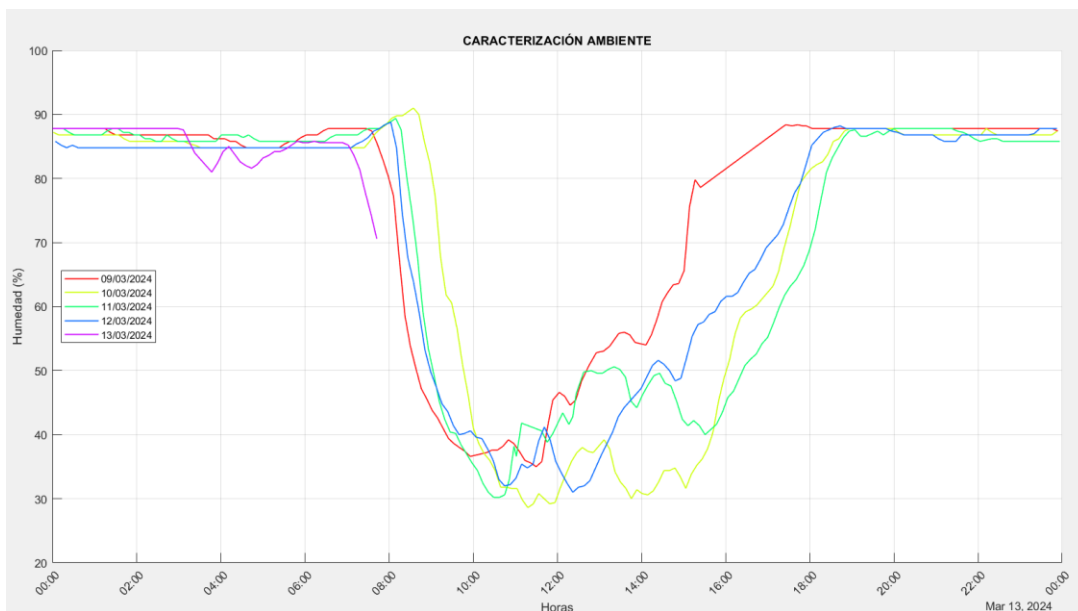
<p>Conductividad del agua</p>	<p>Se muestran los datos por hora de la Conductividad del agua con diferencia de color por días con su marcado de leyenda para diferenciar entre los datos.</p>	<p>Grafica 16</p>
-------------------------------	---	-------------------

Tabla 12. Referencia de graficas de datos a analizar [Elaborado por el autor].

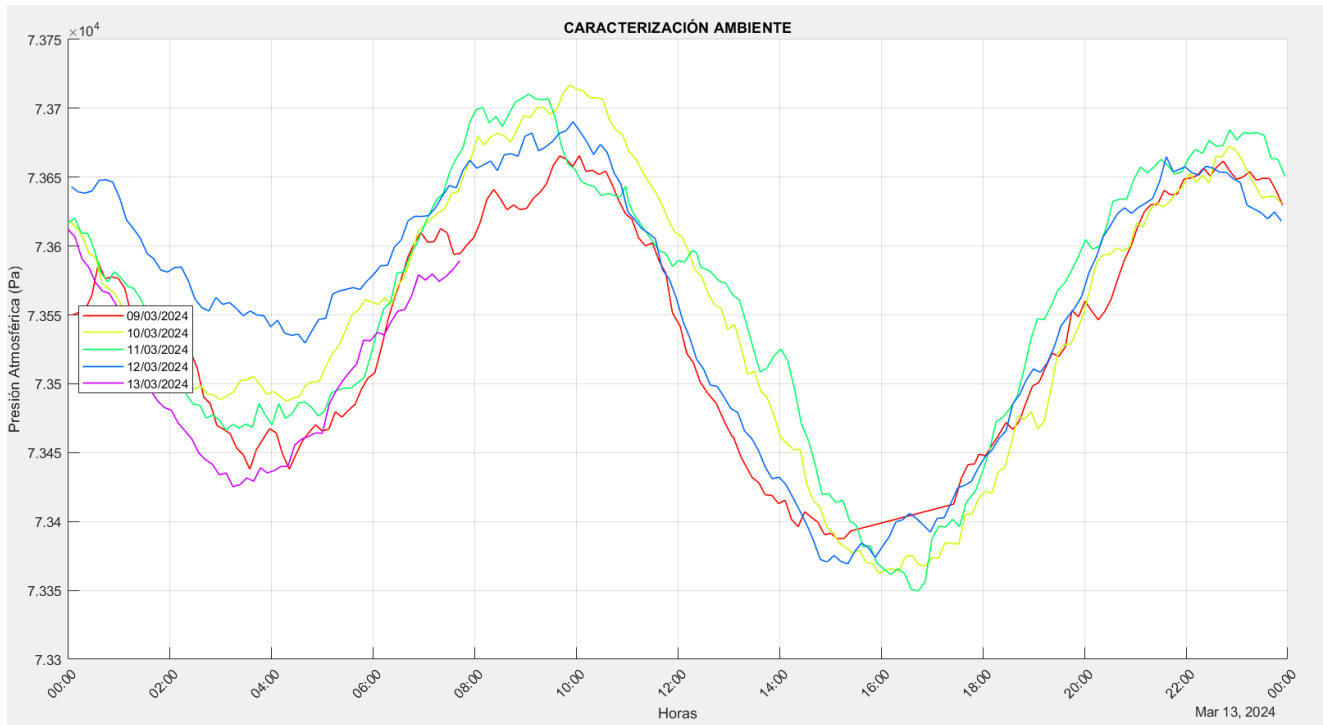
El dispositivo muestra por la página de Thingspeak los datos referentes a cada uno de los datos, por lo que a continuación se muestran las gráficas referentes a cada uno de los sensores, teniendo en cuenta que se muestra parametrizado con color referente a cada día en que los datos son enviados y la hora de toma de los mismo.



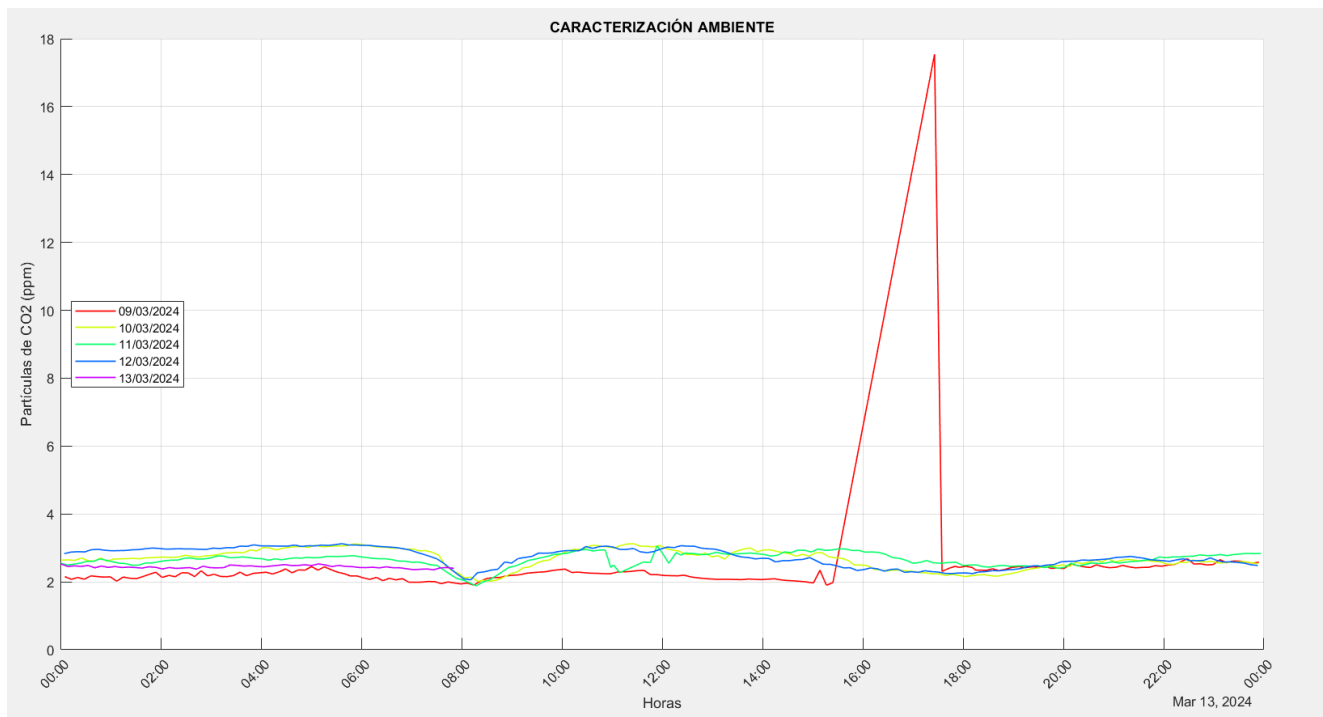
Grafica 9. Datos obtenidos para temperatura promedio.



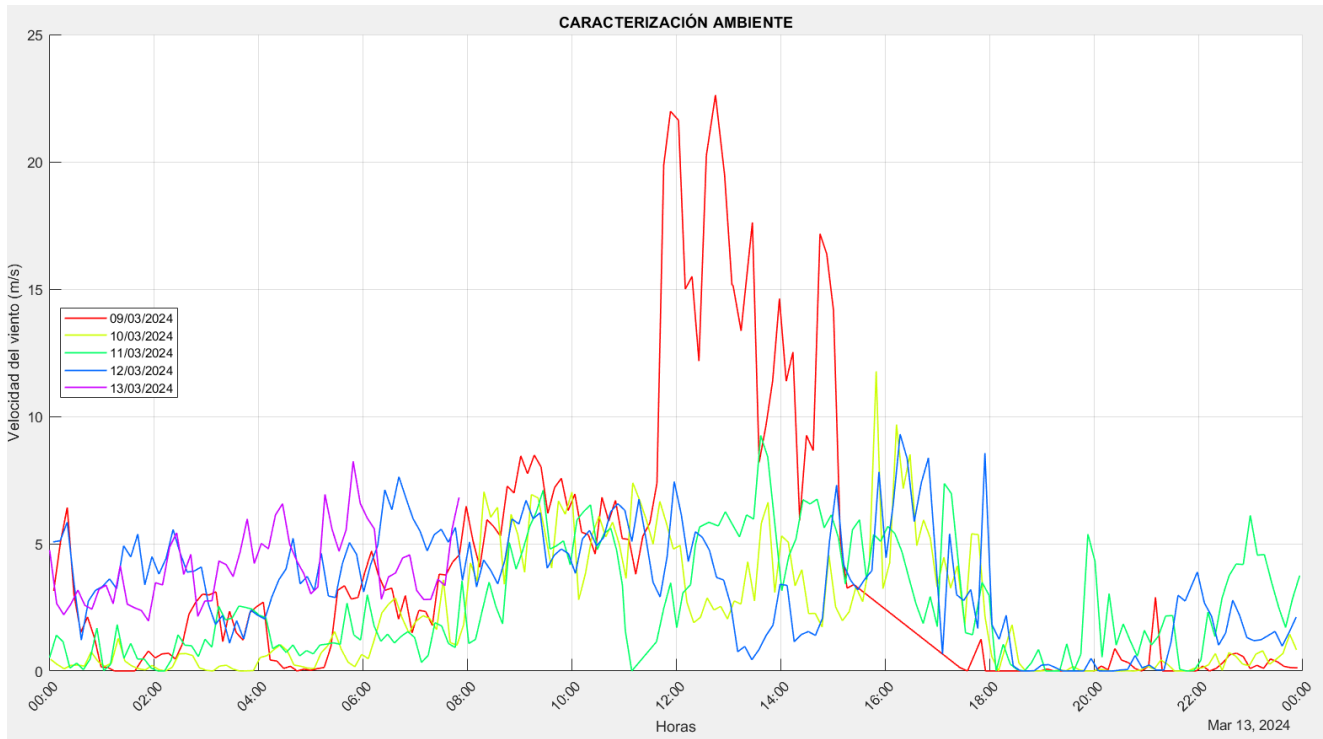
Grafica 10. Datos obtenidos para humedad.



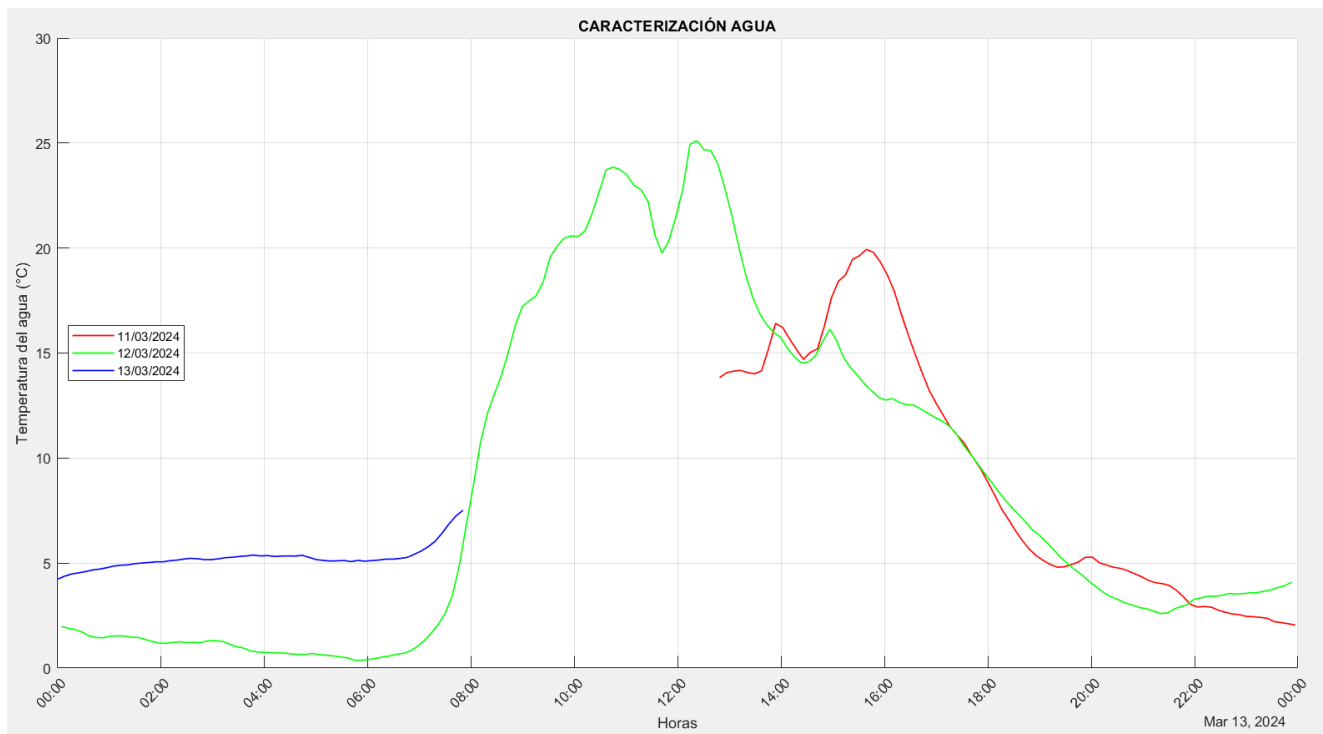
Grafica 11. Datos obtenidos para presión atmosférica.



Grafica 12. Datos obtenidos para partículas de CO2 en el aire.



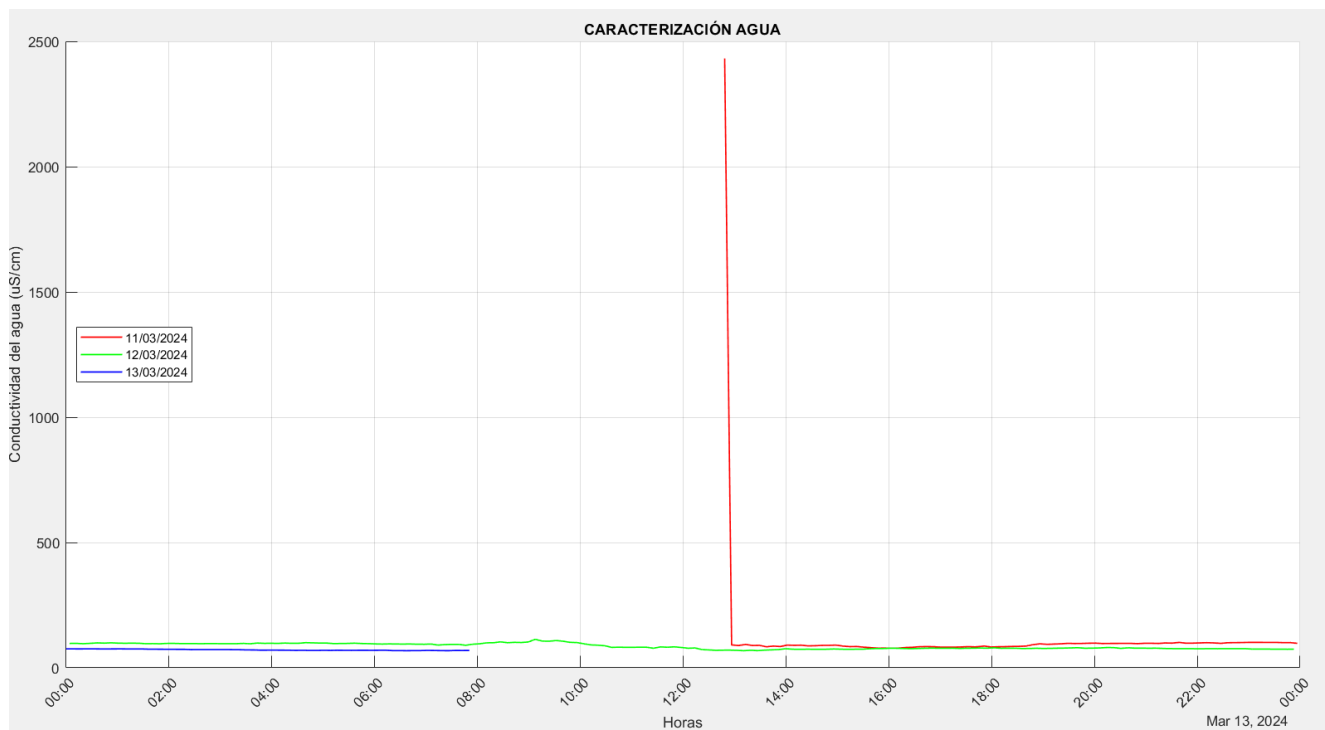
Gráfica 13. Datos obtenidos para velocidad del viento.



Gráfica 14. Datos obtenidos para temperatura del agua.



Grafica 15. Datos obtenidos para turbidez del agua.



Grafica 16. Datos obtenidos para Conductividad del agua.

13.2. Análisis con Temperatura promedio

Se realiza el análisis por día con respecto a cada uno de los datos de calidad de agua como lo son la temperatura del agua, turbidez y conductividad.

- Para temperatura del agua

La correlación entre la temperatura promedio y la temperatura del agua muestra una relación casi perfecta en los días 11 y 12 de marzo de 2024, con valores de correlación de 0.9912 y 0.9977, respectivamente. Estos valores indican una fuerte relación positiva, sugiriendo que a medida que la temperatura promedio aumenta, la temperatura del agua también lo hace, y viceversa. La correlación final de todos los datos analizados es de 0.9957, reforzando la existencia de una conexión muy estrecha entre estas dos variables. Este alto grado de correlación es indicativo de que los cambios en una de las variables están casi perfectamente relacionados con cambios en la otra.

- Para turbidez del agua

La correlación entre la temperatura promedio y la turbidez del agua muestra una relación inversa en los datos presentados. En el día 11/03/2024, se observa una correlación negativa fuerte de -0.7875, lo que indica que a medida que aumenta la temperatura promedio, la turbidez del agua tiende a disminuir. En el día 12/03/2024, la correlación es de -0.3592, mostrando todavía una tendencia inversa pero menos pronunciada.

La correlación final de todos los datos es de -0.4123, lo que sugiere que, en general, existe una tendencia negativa moderada entre la temperatura promedio y la turbidez del agua. Esto podría implicar que incrementos en la temperatura podrían estar asociados con una disminución en la turbidez, aunque esta relación no es extremadamente fuerte. Es importante considerar otros factores ambientales y realizar más estudios para comprender completamente esta dinámica.

- Para conductividad del agua

Los datos presentados sugieren una relación inversa entre la temperatura promedio y la conductividad del agua. El día 11/03/2024, se observa una correlación muy fuerte y negativa de -0.912, lo que indica que a medida que la temperatura promedio aumenta, la conductividad del agua disminuye de manera significativa. El día 12/03/2024, la correlación sigue siendo negativa (-0.415) pero menos fuerte, lo que muestra que la relación inversa se mantiene, pero es menos pronunciada.

La correlación final de todos los datos es de -0.672, lo que indica una relación negativa moderadamente fuerte entre la temperatura promedio y la conductividad del agua. Esto sugiere que en general, a medida que aumenta la temperatura promedio, la conductividad del agua tiende a disminuir, aunque esta relación no es perfectamente lineal ni constante en todos los casos.

Estos resultados podrían deberse a la influencia de la temperatura en la disociación de compuestos en el agua y en la movilidad de los iones, ambos factores claves en la conductividad eléctrica del agua.

13.3. Análisis con Humedad

Se realiza el análisis por día con respecto a cada uno de los datos de calidad de agua como lo son la temperatura del agua, turbidez y conductividad:

- Para temperatura del agua

Los datos presentados muestran una correlación negativa muy fuerte entre la humedad y la temperatura del agua en los días observados y a lo largo del periodo total analizado. Con correlaciones diarias de -0.9780 el 11/03/2024 y -0.9560 el 12/03/2024, y una correlación final de todos los datos de -0.9573, estos valores indican que a medida que la temperatura del agua aumenta, la humedad tiende a disminuir de manera significativa, y viceversa.

Esta relación negativa puede explicarse por el hecho de que el aumento de la temperatura del agua puede provocar una mayor evaporación, lo que a su vez podría disminuir la humedad relativa del aire cercano. Estos resultados son consistentes y muestran un patrón claro en los días analizados, subrayando la fuerte interconexión entre estas dos variables ambientales.

- Para turbidez del agua

La correlación entre la humedad y la turbidez del agua muestra variaciones significativas en los días analizados y en el conjunto total de los datos. El 11 de marzo de 2024, se observó una correlación alta de 0.7977, lo que indica una fuerte relación entre ambas variables en ese día específico. En contraste, el 12 de marzo de 2024, la correlación disminuyó drásticamente a 0.2343, sugiriendo una relación mucho más débil entre la humedad y la turbidez del agua.

Al considerar todos los datos recopilados, la correlación final es de 0.3336. Este valor representa una correlación baja a moderada en el conjunto total de los datos, lo que sugiere que, si bien puede haber una cierta relación entre la humedad y la turbidez del agua, esta no es fuerte y puede ser influenciada por otros factores o variar considerablemente de un día a otro.

- Para conductividad del agua

La correlación entre la humedad y la conductividad del agua indica la relación entre el contenido de agua en el ambiente y su capacidad para conducir electricidad. Los datos presentan variabilidad en los días específicos y en el conjunto global. El 11 de marzo de 2024, se registró una correlación de 0.2312, indicando una relación débil entre ambas variables. Sin embargo, el 12 de marzo de 2024, la correlación aumentó a 0.5125, sugiriendo una relación moderada.

Al analizar todos los datos recopilados, la correlación final es de 0.3101. Este valor sugiere que, en general, existe una relación débil a moderada entre la humedad y la conductividad del agua. Esto puede significar que, aunque hay alguna conexión entre cómo la presencia de humedad en el aire puede afectar la conductividad del agua, esta relación no es fuerte y podría estar influenciada por otros factores ambientales o condiciones específicas de la muestra de agua.

13.4. Análisis con Presión Atmosférica

Se realiza el análisis por día con respecto a cada uno de los datos de calidad de agua como lo son la temperatura del agua, turbidez y conductividad:

- Para temperatura del agua

Los datos indican una correlación negativa entre la presión atmosférica y la temperatura del agua en diferentes días. El 11 de marzo de 2024, se observa una correlación de -0.8324 , lo que sugiere una fuerte relación inversa: a medida que aumenta la presión atmosférica, la temperatura del agua tiende a disminuir. En contraste, el 12 de marzo de 2024, la correlación es de -0.2132 , indicando una relación negativa más débil entre estas dos variables.

La correlación final de todos los datos, -0.3886 , muestra una tendencia general hacia una relación negativa moderada entre la presión atmosférica y la temperatura del agua. Esto significa que, en general, existe una tendencia a que la temperatura del agua disminuya cuando la presión atmosférica aumenta, aunque esta relación no es extremadamente fuerte y puede variar en diferentes días o condiciones específicas.

- Para turbidez del agua

Los datos muestran una correlación positiva entre la presión atmosférica y la turbidez del agua en dos días distintos, lo que indica que a medida que aumenta la presión atmosférica, la turbidez del agua tiende a aumentar también. El 11 de marzo de 2024, la correlación es muy fuerte (0.9437), lo que sugiere una relación casi directa entre estas dos variables en ese día. El 12 de marzo de 2024, la correlación sigue siendo positiva, pero es más moderada (0.5268).

La correlación final de todos los datos, calculada en 0.5605 , indica una tendencia general positiva moderada entre la presión atmosférica y la turbidez del agua. Esto podría sugerir que factores relacionados con la presión atmosférica, como cambios en el clima, pueden influir en la turbidez del agua, aunque la relación no es perfectamente directa y puede ser afectada por otros factores ambientales o geográficos.

- Para conductividad del agua

Los datos presentados indican una relación variable entre la presión atmosférica y la conductividad del agua en dos días diferentes. El 11 de marzo de 2024, se observa una correlación bastante fuerte de 0.7512 , lo que sugiere que, en este día, cambios en la presión atmosférica tenían una relación notable con cambios en la conductividad del agua. Sin embargo, el 12 de marzo de 2024, la correlación disminuye significativamente a 0.3421 , indicando una relación mucho menos fuerte entre estas dos variables en este día específico.

La correlación final de todos los datos, 0.4823 , refleja una relación moderada entre la presión atmosférica y la conductividad del agua. Esto puede indicar que, aunque existen factores que relacionan estas dos variables, otros factores ambientales o condiciones específicas también pueden influir en la conductividad del agua, aparte de la presión atmosférica. Estos resultados sugieren que la relación entre la presión atmosférica y la conductividad del agua es compleja y puede variar dependiendo de las condiciones específicas de cada día.

13.5. Análisis con Partículas de CO₂ en el aire

Se realiza el análisis por día con respecto a cada uno de los datos de calidad de agua como lo son la temperatura del agua, turbidez y conductividad:

- Para temperatura del agua

Los datos muestran cómo varía la correlación entre la concentración de partículas de CO₂ en el aire y la temperatura del agua en dos días diferentes, además de una correlación final considerando todos los datos recolectados. El 11 de marzo de 2024, la correlación es de 0.5669, lo que indica una relación moderadamente positiva; es decir, a medida que aumenta la concentración de CO₂, la temperatura del agua tiende a aumentar también. Sin embargo, el 12 de marzo de 2024, la correlación cae a -0.0946, mostrando casi ninguna relación entre estas dos variables en este día específico.

La correlación final de todos los datos es de 0.0202, lo que sugiere una relación muy débil entre la concentración de CO₂ en el aire y la temperatura del agua cuando se consideran todos los datos recopilados. Esto podría indicar que, aunque en algunos días pueden existir relaciones moderadas entre estas dos variables, en el conjunto de datos completo, otros factores podrían influir en la temperatura del agua, minimizando la relación con las concentraciones de CO₂ en el aire.

- Para turbidez del agua

La correlación entre las partículas de CO₂ en el aire y la turbidez del agua entre el 11 y 12 de marzo de 2024 muestra variaciones diarias interesantes. El 11 de marzo, la correlación es de -0.2339, lo que indica una relación negativa débil. Esto sugiere que un aumento en las partículas de CO₂ en el aire se asoció levemente con una disminución en la turbidez del agua en ese día específico. Sin embargo, el 12 de marzo, la correlación aumenta a 0.4050, mostrando una relación positiva moderada, lo que sugiere que un aumento en las partículas de CO₂ se asoció con un aumento en la turbidez del agua.

Al analizar todos los datos disponibles, la correlación final es de 0.2752, indicando una relación positiva débil en general. Esto significa que, en el conjunto de datos analizado, hay una tendencia leve a que mayores concentraciones de partículas de CO₂ en el aire se asocien con mayor turbidez en el agua, aunque las variaciones diarias indican que esta relación puede fluctuar.

- Para conductividad del agua

La correlación entre las partículas de CO₂ en el aire y la conductividad del agua muestra variaciones diarias y una tendencia general leve. El 11 de marzo de 2024, se observa una correlación de -0.1485, indicando una relación negativa débil. Esto sugiere que un aumento en las partículas de CO₂ en el aire podría asociarse levemente con una disminución en la conductividad del agua ese día. Por otro lado, el 12 de marzo de 2024, la correlación se incrementa a 0.2147, revelando una relación positiva débil, lo que indica que un aumento en las partículas de CO₂ se asoció ligeramente con un aumento en la conductividad del agua.

Cuando se analizan todos los datos disponibles, la correlación final es de 0.1495. Esto muestra una tendencia general hacia una relación positiva débil entre las partículas de CO₂ en el aire y la conductividad del agua. A pesar de las fluctuaciones diarias, la correlación global sugiere que, en

promedio, incrementos en las partículas de CO₂ pueden estar levemente asociados con incrementos en la conductividad del agua, aunque la fuerza de esta asociación es baja.

13.6. Análisis con Velocidad del aire

Se realiza el análisis por día con respecto a cada uno de los datos de calidad de agua como lo son la temperatura del agua, turbidez y conductividad:

- Para temperatura del agua

La correlación entre la velocidad del aire y la temperatura del agua presenta variaciones significativas en los días analizados. El 11 de marzo de 2024, se observa una correlación de 0.6048, lo que indica una relación moderadamente positiva entre estos dos factores. Esto sugiere que, en ese día, un aumento en la velocidad del aire se asoció de manera moderada con un aumento en la temperatura del agua.

Por otro lado, el 12 de marzo de 2024, la correlación disminuye a 0.2800, mostrando una relación positiva más débil. Esto implica que, aunque aún existe una tendencia a que la temperatura del agua aumente con la velocidad del aire, esta relación es menos pronunciada en comparación con el día anterior.

Cuando se consideran todos los datos recopilados, la correlación final es de 0.3624. Esto indica una relación positiva débil a moderada entre la velocidad del aire y la temperatura del agua en el periodo analizado. En resumen, aunque hay variaciones diarias, los datos sugieren que, en general, un aumento en la velocidad del aire puede estar asociado con un aumento leve en la temperatura del agua.

- Para turbidez del agua

La correlación entre la velocidad del aire y la turbidez del agua muestra una relación variada en los días analizados. El 11 de marzo de 2024, la correlación es de -0.3632, indicando una relación negativa moderada. Esto sugiere que, en ese día, un aumento en la velocidad del aire estuvo asociado con una disminución en la turbidez del agua.

En contraste, el 12 de marzo de 2024, la correlación aumenta a 0.3304, reflejando una relación positiva moderada. En este caso, un incremento en la velocidad del aire se asoció con un aumento en la turbidez del agua.

La correlación final considerando todos los datos recopilados es de 0.1392, lo que indica una relación positiva muy débil entre la velocidad del aire y la turbidez del agua durante el periodo analizado. Este resultado final sugiere que, en general, existe una asociación leve entre ambos factores, pero esta relación no es fuerte ni consistente a lo largo del tiempo.

- Para conductividad del agua

La correlación entre la velocidad del aire y la conductividad del agua muestra cambios mínimos en los días analizados. El 11 de marzo de 2024, la correlación es de -0.0123, lo que indica

una relación negativa muy débil. Esto sugiere que, en ese día específico, un aumento en la velocidad del aire tuvo un efecto casi nulo en la disminución de la conductividad del agua.

Para el 12 de marzo de 2024, la correlación se incrementa ligeramente a 0.0254, indicando una relación positiva muy débil. En este caso, un aumento en la velocidad del aire se asoció levemente con un incremento en la conductividad del agua.

La correlación final, considerando todos los datos recopilados, es de 0.0147. Este resultado refleja una relación positiva muy débil entre la velocidad del aire y la conductividad del agua durante el periodo analizado. En general, estos resultados sugieren que la velocidad del aire tiene un impacto casi insignificante en la conductividad del agua, basado en los datos proporcionados.

14. DISCUSIÓN

14.1. Discusión con Temperatura promedio

La calidad del agua recolectada por el sistema atrapanieblas y su relación con los datos climáticos revelan aspectos fundamentales sobre la eficacia y viabilidad del proyecto. A partir del análisis de la temperatura, turbidez y conductividad del agua en relación con la temperatura promedio, se destaca la influencia significativa del clima en la calidad del agua recolectada.

La correlación casi perfecta entre la temperatura promedio y la temperatura del agua resalta cómo los cambios climáticos afectan directamente la temperatura del agua recolectada. Este vínculo estrecho sugiere que el sistema atrapanieblas es altamente sensible a las variaciones climáticas, lo que podría tener implicaciones importantes en la planificación y gestión del sistema, especialmente en contextos donde se busque mantener una temperatura específica del agua para su uso.

La relación inversa observada entre la temperatura promedio y tanto la turbidez como la conductividad del agua indica que las condiciones climáticas más cálidas podrían favorecer una menor turbidez y conductividad. Esto sugiere que la calidad del agua mejora con el aumento de la temperatura, posiblemente debido a la disminución de partículas en suspensión y a una menor disociación de compuestos, lo que resulta en una menor conductividad. Sin embargo, la relación moderada entre estas variables indica que otros factores ambientales o inherentes al sistema de recolección podrían estar influyendo en estos parámetros de calidad del agua.

En términos de discusión, es importante considerar que, aunque existe una clara influencia climática sobre la calidad del agua recolectada por el sistema atrapanieblas, esta relación no es absoluta y puede verse afectada por una serie de factores adicionales, como la ubicación geográfica del sistema, las características específicas del entorno, y la eficiencia del diseño y materiales del sistema atrapanieblas en capturar y condensar la niebla. Asimismo, los resultados destacan la importancia de un monitoreo continuo de los parámetros climáticos y de calidad del agua para optimizar el rendimiento del sistema y garantizar que el agua recolectada cumpla con los estándares necesarios para su uso previsto.

Este análisis subraya la relevancia de integrar datos climáticos en la evaluación y mejora de sistemas de recolección de agua alternativos como los atrapanieblas, con el fin de adaptar estos sistemas a las condiciones climáticas cambiantes y maximizar su eficacia y sostenibilidad.

14.2. Discusión con Humedad

El análisis detallado de la correlación entre los datos climáticos, específicamente la humedad, y los parámetros de calidad de agua (temperatura, turbidez y conductividad) en el contexto del proyecto Atrapanieblas, revela aspectos cruciales sobre cómo los factores ambientales influyen en la calidad del agua recolectada. La relación entre estos parámetros es fundamental para entender la eficacia y sostenibilidad del proyecto Atrapanieblas como solución alternativa para la recolección de agua, particularmente en áreas donde la escasez de agua es un desafío significativo.

La correlación negativa fuerte entre la humedad y la temperatura del agua sugiere que el sistema Atrapanieblas podría enfrentar variaciones en la eficiencia de recolección debido a cambios en la temperatura ambiental. Este fenómeno subraya la importancia de considerar la gestión y diseño del sistema para optimizar la recolección de agua bajo diversas condiciones climáticas, garantizando así una fuente de agua sostenible y de calidad.

La variabilidad en las correlaciones entre la humedad y la turbidez, así como la conductividad del agua, indica la complejidad de los procesos que afectan la calidad del agua recolectada mediante el sistema Atrapanieblas. La fluctuación en la relación entre la humedad y la turbidez del agua, por ejemplo, puede reflejar cómo los factores ambientales, como los eventos de lluvia o sequía, impactan la cantidad de partículas en el agua. Por otro lado, la relación entre la humedad y la conductividad sugiere que la composición química del agua puede variar según las condiciones climáticas, afectando su aptitud para diferentes usos.

14.3. Discusión con Presión atmosférica

La correlación entre los datos climatológicos, como la presión atmosférica, y los parámetros de calidad del agua, incluyendo temperatura, turbidez y conductividad, revela cómo las condiciones ambientales pueden influir significativamente en la eficiencia y eficacia de los sistemas de captación de agua, como el sistema atrapanieblas. Este análisis resalta la importancia de considerar los factores climáticos en la gestión y mejora continua de estas tecnologías para la recolección de agua.

La correlación negativa entre la presión atmosférica y la temperatura del agua sugiere que condiciones atmosféricas más altas podrían conducir a una disminución en la temperatura del agua recolectada. Este efecto puede tener implicaciones tanto para la calidad del agua como para su potencial uso, ya que la temperatura puede afectar la solubilidad de ciertos compuestos y la actividad biológica en el agua.

Por otro lado, la relación positiva entre la presión atmosférica y la turbidez indica que los cambios en las condiciones climáticas podrían aumentar la cantidad de partículas suspendidas en el agua recolectada. Esto podría requerir medidas adicionales de filtración o tratamiento para asegurar la calidad del agua para consumo humano o agrícola, subrayando la importancia de un diseño adaptable y robusto del sistema de captación que pueda manejar variaciones en la calidad del agua.

La variabilidad observada en la correlación entre la presión atmosférica y la conductividad del agua resalta cómo otros factores, posiblemente relacionados con las condiciones específicas de cada sitio o cambios en las fuentes de contaminación, pueden influir en la calidad del agua recolectada. La conductividad, siendo un indicador de la presencia de iones disueltos en el agua, sugiere que la composición química del agua puede variar con los cambios climáticos, lo que podría afectar su uso seguro.

Este análisis subraya la importancia de integrar el monitoreo climático y ambiental en la gestión de sistemas de captación de agua como los atrapanieblas. Entender cómo los factores climáticos afectan la calidad del agua puede guiar en la optimización de estos sistemas, asegurando que sean resilientes frente a las variaciones climáticas y capaces de proporcionar agua de calidad adecuada para sus propósitos previstos. Este enfoque holístico no solo mejora la eficiencia de la captación de agua sino

también contribuye a la sostenibilidad de estos proyectos, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible de promover soluciones innovadoras e infraestructuras resilientes para el acceso al agua.

14.4. Discusión con Partículas de CO₂ en el aire

El análisis presentado sobre la correlación entre la concentración de partículas de CO₂ en el aire y varios indicadores de la calidad del agua (temperatura, turbidez y conductividad) revela una serie de hallazgos interesantes y pertinentes para el proyecto de sistema atrapanieblas y su impacto en la calidad del agua recolectada.

Primero, la variabilidad en las correlaciones diarias entre la concentración de CO₂ y la temperatura del agua destaca cómo los factores ambientales y climáticos pueden influir de manera significativa en la calidad del agua día a día. Aunque la correlación global es muy débil, las fluctuaciones diarias sugieren que hay días en que la calidad del agua podría verse afectada por las concentraciones de CO₂, posiblemente debido a procesos de calentamiento local o cambios en la dinámica atmosférica que impactan la temperatura del agua recolectada.

La relación entre la turbidez del agua y las partículas de CO₂, aunque débil en general, muestra una tendencia positiva que sugiere cómo los cambios en la calidad del aire podrían reflejarse en la calidad del agua, posiblemente a través de la incorporación de partículas y contaminantes del aire en el agua recolectada por el sistema atrapanieblas. Esto subraya la importancia de considerar la calidad del aire en la evaluación de la calidad del agua en proyectos de recolección de agua atmosférica.

Finalmente, la conductividad del agua, que puede ser un indicador de la presencia de iones y solutos disueltos, muestra una correlación positiva débil con la concentración de CO₂ en el aire. Aunque la relación no es fuerte, sugiere que la composición química del agua podría verse influenciada levemente por las condiciones atmosféricas, incluida la contaminación por CO₂.

14.5. Discusión con Velocidad del viento

La discusión sobre el análisis presentado enfoca en la relación entre las condiciones climáticas, específicamente la velocidad del aire, y la calidad del agua recogida por el sistema atrapanieblas. Este análisis revela cómo factores ambientales variables pueden influir en aspectos críticos de la calidad del agua como temperatura, turbidez y conductividad, lo cual es fundamental para la viabilidad y eficacia del proyecto en la ciudad de Tunja.

La correlación moderada entre la velocidad del aire y la temperatura del agua el 11 de marzo sugiere que factores climáticos pueden tener un impacto directo en la temperatura del agua recogida. Este fenómeno podría estar relacionado con la transferencia de calor entre el aire y las gotas de agua en el proceso de captación, indicando que, bajo ciertas condiciones, el sistema atrapanieblas podría necesitar ajustes para manejar las variaciones de temperatura y asegurar la calidad del agua.

Por otro lado, la variabilidad en la correlación respecto a la turbidez del agua destaca cómo la velocidad del aire podría influir en la cantidad de partículas suspendidas en el agua captada. La relación cambiante sugiere que días con mayores velocidades de aire pueden transportar más partículas hacia el

sistema, aumentando la turbidez, mientras que, en otros días, una velocidad de aire menor podría reducir la captación de partículas. Esto subraya la importancia de considerar sistemas de filtrado eficientes que puedan adaptarse a las fluctuaciones en la calidad del agua causadas por cambios en las condiciones climáticas.

La relación casi insignificante entre la velocidad del aire y la conductividad del agua sugiere que otros factores climáticos o ambientales podrían tener un impacto mayor en este aspecto de la calidad del agua. Esto abre la discusión sobre la necesidad de un análisis más amplio que incluya otros elementos como la humedad, la presión atmosférica y la composición química del aire, para comprender mejor cómo el ambiente afecta la conductividad del agua recogida y, por extensión, su calidad general.

15. CONCLUSIONES

El proyecto de diseño e implementación de un sistema automatizado para la captura de agua de niebla con estructura tridimensional ha demostrado ser una solución innovadora y eficaz para la recolección de agua, con el potencial de beneficiar significativamente a la comunidad local. A través de la consecución de los objetivos planteados, se han logrado varios avances importantes:

Verificación de Datos Climatológicos y Meteorológicos: La implementación de un sistema de sensores avanzados permitió una caracterización precisa del ambiente, facilitando la identificación de las condiciones óptimas para la recolección de agua de niebla. Este proceso garantizó la eficiencia y efectividad del sistema al operar en condiciones ideales.

Implementación de un Sistema de Comunicación Eficiente: La capacidad de transmitir datos recolectados a una base en la nube de manera fiable aseguró la integridad y disponibilidad de la información. Esto permitió un análisis detallado de los datos que contribuye a la mejora continua del sistema, así como a la planificación de estrategias de recolección de agua a futuro.

Desarrollo de un Sistema Automatizado Eficiente: La utilización de motorreductores y un diseño innovador garantizó una recolección eficaz de agua de niebla. La automatización del sistema aseguró la operación continua sin necesidad de intervención manual frecuente, lo que representa un avance significativo en la sostenibilidad y practicidad de la recolección de agua de niebla.

Evaluación de la Calidad del Agua Recolectada: Los sensores específicos para la medición de la calidad del agua, como la turbidez y conductividad, permitieron un monitoreo constante de la calidad del agua recolectada. Esto es crucial para asegurar que el agua cumpla con los estándares necesarios para su uso potencial por la comunidad.

La calibración precisa de los sensores en el Laboratorio Alimentos Seguros ha sido fundamental para garantizar la fiabilidad de los datos obtenidos. Este proyecto no solo representa un avance tecnológico en la recolección de agua de niebla, sino que también destaca la importancia de la innovación y la automatización en la solución de problemas ambientales y de recursos. Con base en estos resultados, se puede concluir que el sistema desarrollado tiene el potencial de ser implementado en otras regiones con condiciones climáticas similares, ampliando así su impacto positivo en la recolección de agua y el apoyo a comunidades en necesidad.

La calidad del agua recolectada a través de sistemas atrapanieblas muestra una relación significativa con los datos climáticos, particularmente con la temperatura promedio. Este vínculo entre la temperatura del agua y la temperatura ambiente sugiere una sensibilidad del sistema atrapanieblas a las variaciones climáticas, lo que resalta la necesidad de considerar estas fluctuaciones en la planificación y gestión del proyecto para asegurar la eficacia y viabilidad a largo plazo. La calidad del agua recolectada mediante sistemas atrapanieblas está intrínsecamente vinculada a las condiciones climáticas, especialmente la temperatura. Esto subraya la necesidad de adaptar estos sistemas a los cambios climáticos y de implementar estrategias de monitoreo para asegurar la eficacia y sostenibilidad del método de recolección de agua como una solución viable para enfrentar la escasez de agua.

El análisis revela la intrincada relación entre la humedad y la calidad del agua recolectada en sistemas Atrapanieblas, destacando la importancia de adaptar estos sistemas a las condiciones climáticas

variables para mantener su eficacia. La correlación entre la humedad y parámetros como la temperatura, turbidez, y conductividad del agua subraya la complejidad de garantizar una recolección de agua sostenible y de calidad, enfatizando la necesidad de un enfoque integral que considere tanto el diseño del sistema como su gestión ante los desafíos ambientales.

La influencia de la presión atmosférica sobre la calidad del agua recolectada por sistemas atrapanieblas resalta la relevancia de monitorear y adaptarse a las variaciones climáticas para optimizar la recolección de agua. La relación entre la presión atmosférica y factores como la temperatura, turbidez, y conductividad del agua ilustra cómo cambios en las condiciones atmosféricas pueden afectar directamente la eficiencia y la calidad del agua, poniendo de relieve la necesidad de diseñar sistemas de captación flexibles y robustos que puedan afrontar estas variabilidades y asegurar la provisión de agua de calidad para su uso previsto.

La relación explorada entre las concentraciones de CO₂ y la calidad del agua colectada por sistemas atrapanieblas indica interacciones complejas y variables ambientales que pueden influir en la calidad del agua. Aunque las correlaciones son en general débiles, los datos sugieren que ciertos días las concentraciones de CO₂ pueden afectar la temperatura, turbidez, y posiblemente la conductividad del agua recogida. Esto resalta la importancia de monitorear la calidad del aire como parte integral de la evaluación de la calidad del agua en proyectos de recolección de agua de niebla, apuntando hacia la necesidad de estrategias adaptativas que consideren la dinámica ambiental y climática.

El análisis de la relación entre la velocidad del viento y la calidad del agua recolectada revela que los factores climáticos juegan un papel significativo en determinar la temperatura, turbidez, y potencialmente la conductividad del agua obtenida por sistemas atrapanieblas. La variabilidad encontrada subraya cómo diferentes condiciones de viento pueden influenciar la cantidad de partículas y la temperatura del agua, lo que subraya la importancia de integrar mecanismos de filtrado y ajustes operativos en función de las condiciones climáticas. Estos hallazgos apuntan a la necesidad de un enfoque holístico en la gestión de la calidad del agua recolectada, considerando tanto las condiciones ambientales como las características propias del sistema de recolección de agua de niebla.

16. CRONOGRAMA

CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA Y DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CAPTADOR DE NIEBLA TRIDIMENSIONAL, COMO FUENTE ALTERNATIVA PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUA EN LA CIUDAD DE TUNJA													
ACTIVIDADES	SEMANA												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
FASE DE INVESTIGACIÓN													
<i>Planteamiento del proyecto</i>													
<i>Planteamiento de objetivos</i>													
<i>Estado del arte</i>													
<i>Marco teórico</i>													
<i>Diseño Metodológico</i>													
<i>Planteamiento del cronograma</i>													
<i>Planteamiento del presupuesto</i>													
FASE DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN													
<i>Diseño de estación para caracterización del clima</i>													
<i>Diseño sistema de recolección de agua con atrapaniebla</i>													
<i>Calibración de sensores</i>													
<i>Caracterización del clima</i>													
<i>Análisis de datos de calidad de agua</i>													
FASE DE ENTREGA													
<i>Estrategias de divulgación terminadas</i>													
<i>Presentación del prototipo final</i>													
<i>Finalización del libro final y finalización de proyecto</i>													

Tabla 13 . Cronograma del proyecto [Elaborado por el autor].

16.1. Fase de investigación

Inicialmente, se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la climatología de la región de Tunja, así como con la captación de agua a partir de la niebla. Esto permitirá establecer una base teórica sólida para comprender las condiciones climáticas y las tecnologías existentes.

A continuación, se definirá claramente el problema de investigación, centrándose en la viabilidad y eficacia de implementar un captador de niebla tridimensional en la ciudad de Tunja como una fuente alternativa de agua. Se formularán objetivos específicos, como analizar los patrones climáticos locales, diseñar un sistema automatizado de captación de niebla tridimensional y evaluar su rendimiento en términos de recolección de agua.

La fase de investigación implicará recopilar datos climáticos históricos y actuales de la región, lo que permitirá caracterizar las condiciones climáticas de Tunja y evaluar la disponibilidad potencial de niebla.

16.2. Fase de diseño e implementación

En esta etapa, se traducirán los hallazgos sobre las condiciones climáticas locales y la captación de niebla en un diseño técnico detallado para el captador de niebla tridimensional. Este diseño abarcará la definición precisa de las dimensiones, estructura y materiales del sistema, así como la disposición óptima de las superficies captadoras. Además, se seleccionarán y configurarán los componentes necesarios para la automatización, como sensores de humedad, temperatura y velocidad del viento, junto con los sistemas de control y actuadores adecuados para optimizar la recolección de agua.

Una vez completado el diseño, se procederá a la construcción de un prototipo funcional del sistema automatizado. Este prototipo permitirá poner a prueba en la práctica la viabilidad del diseño y ajustar detalles antes de la implementación completa. Con el prototipo validado, se llevará a cabo el ensamblaje y montaje del sistema en el lugar previsto, considerando las características geográficas y climáticas específicas de Tunja. Una vez que el sistema esté funcionando satisfactoriamente, se establecerá un proceso continuo de monitoreo y evaluación para asegurar su operación eficiente a lo largo del tiempo.

16.3. Fase de entrega

Se realizará un análisis integral de los datos recopilados durante la fase de implementación para evaluar la eficiencia y la efectividad del sistema en términos de recolección de agua a partir de la niebla. Los resultados de estas pruebas serán presentados en informes técnicos detallados, que incluirán gráficos, tablas y conclusiones basadas en el rendimiento real del sistema.

Además, se generará un informe final que englobe todo el proceso desde la investigación hasta la implementación. Este informe deberá incluir una revisión de la literatura, los hallazgos climatológicos, la metodología de diseño, los resultados de las pruebas, las mejoras y los desafíos enfrentados. Esta documentación será valiosa para la validación y referencia futura del proyecto, así como para la posibilidad de futuras investigaciones o aplicaciones.

17. PRESUPUESTO

MICROCONTROLADOR Y SISTEMA DE COMUNICACION			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (COP)	PRECIO TOTAL (COP)
ESP32 DEVKIT V1	1	\$ 35.000,00	\$ 35.000,00
Shield Expansión Pines ESP32	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Modulo MIFI UNE 4G	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
SIMCARD Movistar	1	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
Recarga Datos	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
TOTAL		\$ 107.000,00	

Tabla 14 . Presupuesto de microcontrolador y sistema de comunicación [Elaborado por el autor].

SENSORES PARA MEDICIÓN DE CLIMA, AGUA y MOTORES			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (COP)	PRECIO TOTAL (COP)
Modulo MAX6675	1	\$ 22.000,00	\$ 22.000,00
Modulo DHT11	1	\$ 8.000,00	\$ 8.000,00
Modulo BMP280	1	\$ 12.500,00	\$ 12.500,00
Modulo MQ135	1	\$ 9.500,00	\$ 9.500,00
Anemómetro WH-SP-WS01	1	\$ 98.000,00	\$ 98.000,00
Sensor Nivel Genérico	1	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
Termocupla DS18B20	1	\$ 11.000,00	\$ 11.000,00
Modulo TSW-20M	1	\$ 55.000,00	\$ 55.000,00
Modulo SEN0244	1	\$ 76.000,00	\$ 76.000,00
Modulo HC-020K	1	\$ 9.500,00	\$ 9.500,00
TOTAL		\$ 305.500,00	

Tabla 15 . Presupuesto de sensores para medición de clima, agua y motores [Elaborado por el autor].

ACTUADORES			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (COP)	PRECIO TOTAL (COP)
Motorreductor 6kg	2	\$ 63.000,00	\$ 126.000,00
Electroválvula	1	\$ 35.000,00	\$ 35.000,00
TOTAL		\$ 161.000,00	

Tabla 16 . Presupuesto de actuadores [Elaborado por el autor].

SISTEMA ELÉCTRICO			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (COP)	PRECIO TOTAL (COP)
Baterías 18650 2.5 A	8	\$ 25.000,00	\$ 200.000,00
Porta Pila para 4 Baterías 18650 Conexión Serie (14.8V)	2	\$ 11.000,00	\$ 22.000,00
Modulo carga y descarga baterías litio 4 celdas	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Modulo reductor 2A	1	\$ 7.000,00	\$ 7.000,00
Modulo reductor 5A	2	\$ 13.000,00	\$ 26.000,00
Cargador 19V 5A	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Cable dúplex 10A metro	8	\$ 6.000,00	\$ 48.000,00
Terminales eléctricos	15	\$ 1.200,00	\$ 18.000,00
Switches 10A	2	\$ 1.500,00	\$ 3.000,00
Jumpers surtidos	3	\$ 16.000,00	\$ 48.000,00
Cinta multi cable 15 cables metro	4	\$ 4.000,00	\$ 16.000,00
TOTAL			\$ 453.000,00

Tabla 17 . Presupuesto de sistema eléctrico [Elaborado por el autor].

ENCAPSULAMIENTO			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (COP)	PRECIO TOTAL (COP)
Caja plástica sistema microcontrolador y sensores clima	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Caja plástica sistema motores	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Recipiente plástico tomade datos agua	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Botellón almacenamiento agua	1	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
TOTAL			\$ 65.000,00

Tabla 18 . Presupuesto de encapsulamiento [Elaborado por el autor].

ESTRUCTURA			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (COP)	PRECIO TOTAL (COP)
Estructura Cortina atrapaniebla Tuberías 1/2' metro	12	\$ 4.000,00	\$ 48.000,00
Estructura Cortina atrapaniebla Tuberías 1' metro	6	\$ 6.000,00	\$ 36.000,00
Estructura Cortina atrapaniebla uniones T 1/2'	7	\$ 1.000,00	\$ 7.000,00
Estructura Cortina atrapaniebla uniones L 1/2'	4	\$ 1.000,00	\$ 4.000,00

PRESUPUESTO

Estructura Cortina atrapaniebla uniones X 1/2'	2	\$ 1.000,00	\$ 2.000,00
Estructura Cortina atrapaniebla uniones 3 1/2'	2	\$ 1.000,00	\$ 2.000,00
Estructura Cortina atrapaniebla uniones 1'	4	\$ 1.500,00	\$ 6.000,00
Estructura Cortina atrapaniebla soporte motores	2	\$ 30.000,00	\$ 60.000,00
Estructura Sensores rectangular metálica	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Estructura Sensores acrílico	2	\$ 15.000,00	\$ 30.000,00
Estructura Sensores Tuberías 1/2' metro	9	\$ 4.000,00	\$ 36.000,00
Estructura Sensores uniones T 1/2'	9	\$ 1.000,00	\$ 9.000,00
Estructura Sensores uniones L 1/2'	10	\$ 1.000,00	\$ 10.000,00
Estructura Sensores otras uniones 1/2'	20	\$ 1.500,00	\$ 30.000,00
Poli sombra 2m alto x metro	3	\$ 10.000,00	\$ 30.000,00
Pita cuerda - metro	10	\$ 4.000,00	\$ 40.000,00
Tornillos + tuercas surtido	50	\$ 1.200,00	\$ 60.000,00
TOTAL			\$ 425.000,00

Tabla 19 . Presupuesto de estructura [Elaborado por el autor].

PROYECTO			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (COP)	PRECIO TOTAL (COP)
MICROCONTROLADOR Y SISTEMA DE COMUNICACION	1	\$ 107.000,00	\$ 107.000,00
SENSORES PARA MEDICIÓN DE CLIMA, AGUA y MOTORES	1	\$ 305.500,00	\$ 305.500,00
ACTUADORES	1	\$ 161.000,00	\$ 161.000,00
SISTEMA ELÉCTRICO	1	\$ 453.000,00	\$ 453.000,00
ENCAPSULAMIENTO	1	\$ 65.000,00	\$ 65.000,00
ESTRUCTURA	1	\$ 425.000,00	\$ 425.000,00
TOTAL			\$ 1.516.500,00

Tabla 20 . Presupuesto de proyecto [Elaborado por el autor].

18. ESTRATEGIAS DE DIVULGACIÓN

18.1. Artículo de publicación

Someter el proyecto a un riguroso proceso de revisión para su posibilidad de publicación como artículo en revista nacional o internacional indexada.

Primero, se debe investigar e identificar revistas bien establecidas en el área de estudio. Evaluar su factor de impacto, índices de citación y reputación en la comunidad académica es esencial para garantizar la visibilidad y el prestigio del artículo. La alineación temática entre el contenido del artículo y la temática de la revista es fundamental para asegurar su relevancia. Además, es importante verificar la indexación en bases de datos relevantes y comprender el proceso de revisión por pares de la revista. Considerar el tiempo de publicación, los costos asociados y las políticas de acceso abierto también influye en la elección.

Después, se preparará un manuscrito completo y estructurado de acuerdo con las pautas de la revista escogida, el cuál será enviado a la espera de su pronta respuesta.

18.2. Registro de Software

El registro del software para los dos sistemas mencionados se realiza con el propósito de garantizar la legalidad, protección y control de la propiedad intelectual del software utilizado en los sistemas de caracterización y de calidad de agua.

19. ÍNDICE DE REFERENCIAS

19.1. Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 . Atrapanieblas “CloudFisher” de Fundación Agua WasserStiftung [11].	9
Ilustración 2 . ESP32-DevKitC V4 board [12].	10
Ilustración 3. Funcionamiento del sistema atrapanieblas [Elaborado por el autor].	13
Ilustración 4. Diseño esquemático de la estructura atrapanieblas tridimensional sin soporte estructural [Elaborado por el autor].	14
Ilustración 5. Diseño esquemático de la estructura atrapanieblas tridimensional con soporte estructural [Elaborado por el autor].	14
Ilustración 6. Diseño esquemático de la base para estructura atrapanieblas [Elaborado por el autor].	15
Ilustración 7. Diseño esquemático de la estructura atrapanieblas anclado su base [Elaborado por el autor].	15
Ilustración 8. Diseño mecánico para cortina de poli sombra [Elaborado por el autor].	16
Ilustración 9. Diseño estructural con diseño mecánico para cortina de poli sombra [Elaborado por el autor].	16
Ilustración 10. Esquema estructural completo del atrapaniebla.	17
Ilustración 11. Diseño esquemático de la estructura simple del atrapanieblas con soporte estructural y numeración de uniones [Elaborado por el autor].	17
Ilustración 12. Diseño esquemático de la estructura atrapanieblas con soporte estructural y numeración de uniones [Elaborado por el autor].	17
Ilustración 13. Codo PVC ½” [Generado por IA].	18
Ilustración 14. Unión T PVC ½” [Generado por IA].	18
Ilustración 15. Unión Cruz recta ½” [Generado por IA].	18
Ilustración 16. Unión 90° x3 espacios ½” [Generado por IA].	18
Ilustración 17. Unión Cruz 90° x4 espacios ½” [Generado por IA].	18
Ilustración 18. Tubo de PVC 1 ½” [Generado por IA].	18
Ilustración 19. Ganchos polea [Generado por IA].	19
Ilustración 20. Estructura sistema atrapanieblas vista frontal.	19
Ilustración 21. Estructura sistema atrapanieblas vista trasera.	19
Ilustración 22. Diseño estructural básico de la estación climatológica [Elaborado por el autor].	20
Ilustración 23. Estructura para sistema de recolección de agua y lectura de calidad de agua [Elaborado por el autor].	21
Ilustración 24. Diseño esquemático de la estructura de la estación climatológica con soporte estructural y numeración de uniones [Elaborado por el autor].	21
Ilustración 25. Perfil rectangular de aluminio [Generado por IA].	22
Ilustración 26. Unión PVC lisa ½” [Generado por IA].	22
Ilustración 27. Diseño esquemático de la estructura para recolección de agua, medición de calidad de agua y numeración de uniones [Elaborado por el autor].	22
Ilustración 28. Recipiente plástico cilíndrico [Generado por IA].	23
Ilustración 29. Recipiente plástico cuadrado [Generado por IA].	23
Ilustración 30. Recipiente botellón para agua [Generado por IA].	23
Ilustración 31. Estructura para la estación climatológica y calidad de agua.	24
Ilustración 32. Estructura para el sistema de almacenamiento de agua y obtención de datos para calidad de agua.	24

Ilustración 33. Diagrama de bloques del sistema eléctrico de potencia [Elaborado por el autor].	26
Ilustración 34. Modulo MiFi usado para la conexión a red de internet.	28
Ilustración 35. Sistema de potencia en nivel bajo.	28
Ilustración 36. Sistema completo de electrónica y potencia, con espacios de ventilación.	28
Ilustración 37. Canales de recepción de datos de Thingspeak MATLAB.	29
Ilustración 38. Canal de caracterización ambiente, donde se observa el Field de temperatura exterior y humedad.	29
Ilustración 39. Field de status de texto para canal de caracterización ambiente.	30
Ilustración 40. Field de status de texto para canal de Sistema.	30
Ilustración 41. Evidencia 1 de calibración de sensores.	31
Ilustración 42. Evidencia 2 de calibración de sensores.	31
Ilustración 43. Evidencia de puesta en marcha del sistema atrapanieblas tridimensional, vista frontal.	37
Ilustración 44. Evidencia de puesta en marcha del sistema atrapanieblas tridimensional, vista trasera.	37

19.2. Índice de Tablas

Tabla 1 . Condiciones principales en la caracterización climatológica [6] [7]	9
Tabla 2 . Instrumentación necesaria para el sistema [Elaborado por el autor].	10
Tabla 3 . Características geográficas y climáticas de Tunja [13] [14] [15].	11
Tabla 4. Referencia de numeración para uniones en estructura de atrapanieblas tridimensional con soporte estructural [Elaborado por el autor].	18
Tabla 5. Referencia de numeración para uniones en estructura de la estación climatológica con soporte estructural [Elaborado por el autor].	22
Tabla 6. Referencia de numeración para uniones en estructura para recolección de agua y medición de calidad de agua [Elaborado por el autor].	23
Tabla 7. Elementos eléctricos para el sistema de potencia [Elaborado por el autor].	25
Tabla 8. Sensores usados en el sistema de estación meteorológica y calidad de agua [Elaborado por el autor].	26
Tabla 9. Actuadores usados en el sistema [Elaborado por el autor].	27
Tabla 10. Correspondencia de datos en canales de Thingspeak [Elaborado por el autor].	30
Tabla 11. Toma de datos para caracterización del sensor de nivel de agua [Elaborado por el autor].	36
Tabla 12. Referencia de graficas de datos a analizar [Elaborado por el autor].	39
Tabla 13 . Cronograma del proyecto [Elaborado por el autor].	55
Tabla 14 . Presupuesto de microcontrolador y sistema de comunicación [Elaborado por el autor].	57
Tabla 15 . Presupuesto de sensores para medición de clima, agua y motores [Elaborado por el autor].	57
Tabla 16 . Presupuesto de actuadores [Elaborado por el autor].	57
Tabla 17 . Presupuesto de sistema eléctrico [Elaborado por el autor].	58
Tabla 18 . Presupuesto de encapsulamiento [Elaborado por el autor].	58
Tabla 19 . Presupuesto de estructura [Elaborado por el autor].	59
Tabla 20 . Presupuesto de proyecto [Elaborado por el autor].	59

19.3. Índice de Graficas

Grafica 1. Tendencia de dato temperatura exterior para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor]. 32

Grafica 2. Tendencia de dato humedad para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor]. 32

Grafica 3. Tendencia de dato temperatura interior 1 para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor]. 33

Grafica 4. Tendencia de dato temperatura interior 2 para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor]. 33

Grafica 5. Tendencia de dato temperatura agua para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor]. 34

Grafica 6. Tendencia de dato turbidez agua para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor]. 34

Grafica 7. Tendencia de dato Conductividad agua para verificación respecto a calibrado [Elaborado por el autor]. 35

Grafica 8. Gráfica y ecuación característica del sensor de nivel [Elaborado por el autor]. 36

Grafica 9. Datos obtenidos para temperatura promedio. 39

Grafica 10. Datos obtenidos para humedad. 39

Grafica 11. Datos obtenidos para presión atmosférica. 40

Grafica 12. Datos obtenidos para partículas de CO2 en el aire. 40

Grafica 13. Datos obtenidos para velocidad del viento. 41

Grafica 14. Datos obtenidos para temperatura del agua. 41

Grafica 15. Datos obtenidos para turbidez del agua. 42

Grafica 16. Datos obtenidos para Conductividad del agua. 42

19.3. Índice de Anexos

- Anexo 1. Código microcontrolador ESP32 para Arduino IDE.
- Anexo 2. Documentos de calibración.

20. BIBLIOGRAFÍA

- [1] United Nations, «Sustainable Development Goal 6,» unwater, Julio 2021. [En línea]. Available: https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/07/SDG-6-Summary-Progress-Update-2021_Version-July-2021.pdf. [Último acceso: 29 Junio 2023].
- [2] El Tiempo, «Captadores de agua de las nieblas,» 07 Enero 2014. [En línea]. Available: <https://www.tiempo.com/ram/39121/captadores-de-agua-de-las-nieblas/>.
- [3] Veolia, «Nuestra historia en Tunja,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.veolia.com.co/tunja-yopal/nosotros/quienes-somos/historia-tunja>.
- [4] El Tiempo, «A Tunja no le falta agua por buen funcionamiento de pozos y represas,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-11403925>.
- [5] ONU-DAES, «Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida",» 2015. [En línea]. Available: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml. [Último acceso: 29 Junio 2023].
- [6] M. E.-P. L. P.-P. Torres-Torres, «ESTRATEGIAS PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE PRECIPITACIONES EN LA VEREDA LAS PALMAS DEL MUNICIPIO DE TUNJA, BOYACÁ,» 2022. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/364579643_Estrategias_para_la_adaptacion_de_un_sistema_de_captacion_de_precipitaciones_en_la_vereda_de_las_Palmas_del_municipio_de_Tunja_Boyaca/fulltext/6352881b96e83c26eb3c0dec/Estrategias-para-la-adaptacion-de-un. [Último acceso: 29 Junio 2023].
- [7] A. S. Rodriguez, «Caracterización de un sistema captador de niebla, como fuente alternativa de agua que relacione variables climatológicas en la ciudad de Tunja – Boyacá,» 28 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/46191>. [Último acceso: 29 Junio 2023].
- [8] J. C. Acero Serrato, «Propuesta de un modelo de negocio para un sistema de captación de agua niebla en Colombia,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/45397/u827448.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 14 Julio 2023].
- [9] B. Sizirici, «Dew, Fog and Rain Collector in a Hyper-arid Climate: Case Study in Abu Dhabi,» 2019. [En línea]. Available: <https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85073794258&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=2d7db7a57e6953a98ed3753a5aa603d1&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Dew%2C+Fog+and+Rain+Collector+in+a+Hyper-arid+Clima>. [Último acceso: 29 Junio 2023].
- [10] J. Peris Martínez, «Sistema de monitorización inalámbrica de temperatura mediante sensor de infrarrojos y microcontrolador ESP32,» 2020. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/153154>. [Último acceso: 14 Julio 2023].
- [11] Semana, «Pescadores de nubes contra escasez de agua,» 23 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/pescadores-nubes-contra-escasez-agua/32758/>. [Último acceso: 01 Julio 2023].
- [12] ESPRESSIF, «ESP32 Series,» 2023. [En línea]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. [Último acceso: 2023 Junio 2023].
- [13] meteoblue, «Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Tunja,» meteoblue, 2006-2023. [En línea]. Available: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/tunja_colombia_3666608. [Último acceso: 01 Julio 2023].
- [14] Alibaba, «topographic-map,» 2023. [En línea]. Available: <https://en-gb.topographic-map.com/map-p9fcgt/Tunja/?center=5.52851%2C-73.34867&zoom=13>. [Último acceso: 01 Julio 2023].
- [15] INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - UPTC, «CARTAS CLIMATOLÓGICAS - MEDIAS MENSUALES,» 1999. [En línea]. Available: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/tunja/tunja.htm>. [Último acceso: 30 Julio 2023].
- [16] G. N. Cantor Andrés, «Repositorio Universidad Católica,» 2019. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/749e753f-ddfe-469c-a464-2264571973ee/content>. [Último acceso: 10 12 2023].

