



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

## **SISTEMA DE MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES SIMEVAM**

**Autor(es)**

**Julián Andrés Muñoz Jiménez  
Cristian Felipe Manrique Gómez**

**Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Electrónica y  
Telecomunicaciones.  
Medellín, Colombia**

**2021**



Sistema de Medición de Variables Ambientales

SIMEVAM

**Julián Andrés Muñoz Jiménez**  
**Cristian Felipe Manrique Gómez**

Trabajo de grado como requisito para optar al título de:

**Ingeniero electrónico**

Asesores(a):

David Stephen Fernández MC Cann - Doctorado En Telecomunicaciones

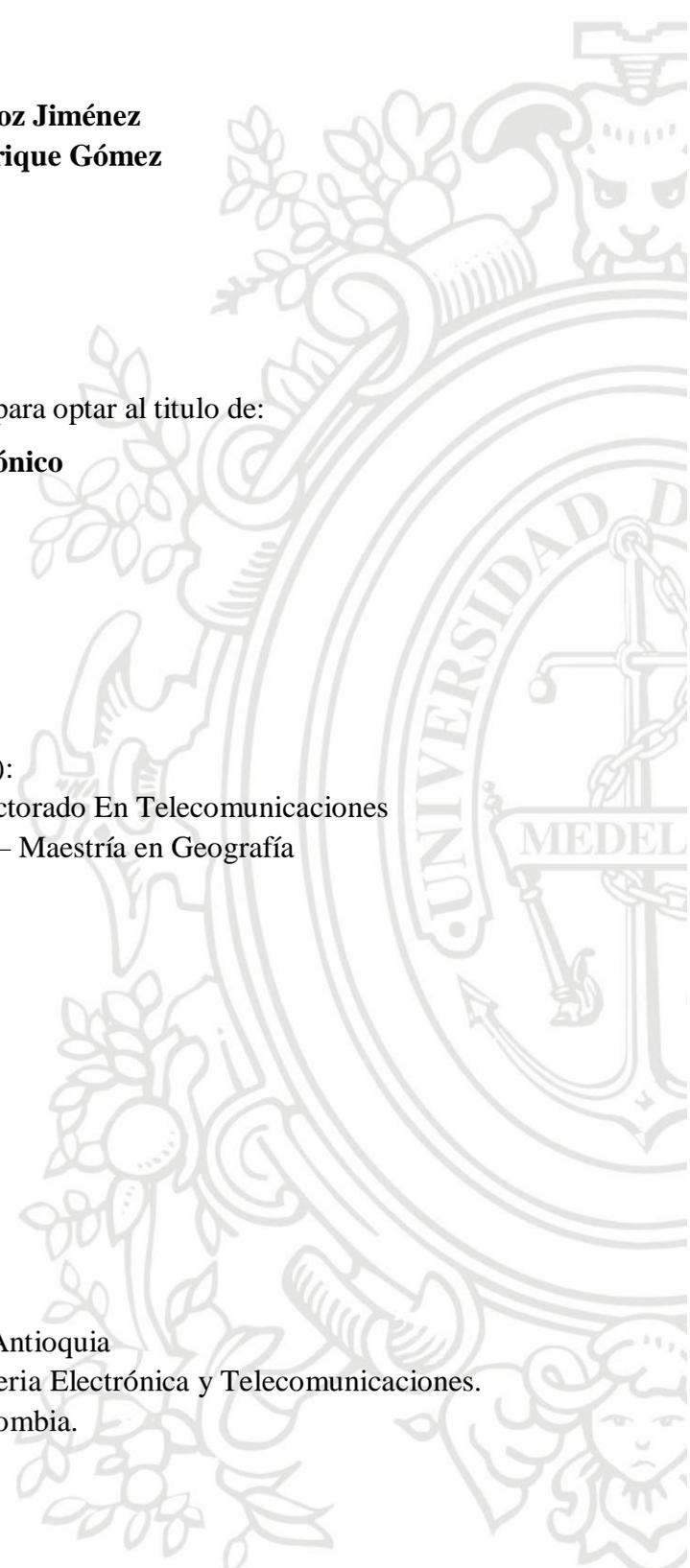
Fabio de Jesús Vélez Macías – Maestría en Geografía

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.

Medellín, Colombia.

2021.



## SISTEMA DE MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES –SIMEVAM

### Resumen

En la ciénaga de Ayapel, un humedal declarado como sitio Ramsar, se hacía necesario tener un sistema de medición de variables ambientales que se encargara de obtener datos del medio físico y los mostrara de manera remota en un dispositivo final ubicado en cualquier parte del mundo. La entidad CORPOAYAPEL inicialmente contaba con una estación meteorológica de la marca DAVIS INSTRUMENTS con la cual se podía tomar mediciones de algunas variables, pero tenían problemas de acceso y portabilidad a la hora de almacenar los datos, pues el software con el que esta venía de fabrica no entregaba los datos de manera pura, únicamente los graficaba. Por otro lado, el punto geográfico que se quería monitorear no disponía de acceso a internet, por lo tanto, el reto era diseñar un sistema que extrajera los datos de la estación meteorológica DAVIS y que la integrara a un conjunto de nuevos sensores Atlas Scientific | Environmental Robotics; de tal manera que los datos finales fueran transmitidos a larga distancia y visualizados en una aplicación web.

Para la solución del problema se usaron diferentes tecnologías y software Open Source los cuales cumplen diferentes funciones dentro del diseño del sistema. Inicialmente los módulos Lora se encargaron de leer los datos de los sensores Atlas y transmitirlos a través del protocolo LoRaWAN hasta el centro de datos. Por otro camino y con la ayuda de weewx (software meteorológico con soporte para comunicación mediante protocolo MQTT) se enrutaron los datos provenientes de DAVIS usando protocolo ethernet, para este punto se hizo necesario la creación de una subred local LAN.

Para el centro de datos se utilizó una Raspberry PI 4B la cual recibe y almacena los datos provenientes de la estación meteorológica DAVIS y de los sensores Atlas mediante comunicación ethernet y MQTT respectivamente. Para la visualización de los datos se usó la herramienta de programación orientada a flujo de datos NodeRed, la cual tiene un plugin MQTT para suscribirse a un tema específico y un sin fin de nodos que facilitaron la visualización de los datos en tiempo real. Finalmente, el almacenamiento de la información se estableció haciendo uso de un archivo de texto, donde reposaran todos los datos para su posterior análisis.

## 1. Introducción

Actualmente los sistemas meteorológicos se han convertido en una de las opciones de mayor consulta, divulgación y aporte a la sociedad, incluso son considerados como medios de comunicación ya que nos brindan información del entorno físico que nos rodea. Uno de los dispositivos mayormente conocidos en el mercado de las estaciones meteorológicas es la Davis Vantage Vue que es un conjunto de sensores totalmente integrados y compactos, diseñada por Davis Instruments; técnicamente dicha estación tiene un alcance inalámbrico de 300 m y consumo de baja potencia, mide velocidad y dirección del viento, temperatura, precipitación y humedad en el ambiente. Dispositivos como los anteriores no son sistemas que sean escalables ya que de fábrica vienen con especificaciones técnicas establecidas, no tiene la capacidad de adaptarse y están sometidos al uso del software que el mismo fabricante proporciona. Por tal motivo, existe la necesidad de dar a conocer y de poner al servicio de las comunidades la información que la ingeniería obtiene y analiza en una forma más accesible, es aquí donde surge el problema que se abordará. Se pretende diseñar e implementar un sistema integrado de comunicación inalámbrica que sea capaz de capturar datos meteorológicos, almacenarlos en un servidor web físico y que puedan ser visualizados en cualquier dispositivo final al servicio de la comunidad, pero particularmente, ¿Cómo obtener variables ambientales del medio físico de lugares apartados donde no hay acceso a internet y aun así poder visualizarlas remotamente desde cualquier parte del mundo? Para resolver dicho problema se ha optado por realizar una comunicación con tecnología de radio frecuencia punto a punto, de largo alcance; un par de microcontroladores serán los nodos de comunicación entre los dispositivos primarios (sensorespublicadores) y los dispositivos finales (cliente-suscriptores). Para establecer la conexión entre las diferentes partes del sistema se usará el protocolo de comunicación LoRaWAN y MQTT el cual se ejecuta sobre TCP/IP. Finalmente, el sistema desarrollado será escalable con comunicación confiable, es decir, tendrá la habilidad para reaccionar y adaptarse, manejar el crecimiento continuo de la tecnología y además estará preparado para hacerse más grande sin perder calidad en los servicios ofrecidos.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo general:

Diseñar e implementar un sistema integrado de sensores escalable con comunicación inalámbrica capaz de tomar datos meteorológicos, almacenarlos en un servidor web y mostrarlos en cualquier dispositivo final en tiempo real.

### 2.2. Objetivos específicos:

- 2.2.1. Conocer, interpretar y acondicionar las diferentes formas de señales provenientes de los dispositivos primarios encargados de capturar los datos del medio físico y definir el protocolo de comunicación inalámbrico y la estructura de las tramas que se enviarán través del medio, de tal manera que se garantice la estabilidad y eficiencia del sistema de comunicación.
- 2.2.2. Seleccionar un conjunto de sensores que se ajusten a las necesidades técnicas del proyecto y así facilitar el diseño de la red de medición y adquisición de variables ambientales.
- 2.2.3. Transmitir la información desde los sensores (Punto A Transmisor) hasta el “centro de datos” (Punto B Receptor-Broker) con el protocolo LoRaWAN y MQTT, para que pueda ser observada en tiempo real desde cualquier dispositivo con conexión a internet.
- 2.2.4. Diseñar una aplicación web usando la herramienta de programación visual NodeRED cuyo fin es conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea a través de la cual se pueda visualizar las gráficas de los datos obtenidos en tiempo real y el historial de estos.
- 2.2.5. Implementar un sistema de comunicación escalable, es decir, que tenga la habilidad para reaccionar y adaptarse, manejar el crecimiento continuo y que esté preparado para hacerse más grande sin perder calidad en los servicios ofrecidos.
- 2.2.6. Instalar a SIMEVAM en un lugar de interés, iniciar con la toma de datos y ponerlos a disposición de ingenieros ambientales con la pedagogía necesaria para su correcta manipulación.

### 3. Marco Teórico

Los sistemas de alerta temprana (EWS) actuales se basan en gran medida en la medición de la intensidad de las lluvias o en el seguimiento de los niveles de agua. Los más implementado en todo el mundo para inundaciones repentinas pluviales puede ser esencialmente dividido en cuatro procedimientos básicos (Acosta-Coll, Ballester-Merelo, Martínez-Peiró, & De la Hoz-Franco, 2018): Avisos basados en precipitaciones mediante el uso de herramientas de medición (pluviómetro y /o radar meteorológico) y métodos de pronóstico a corto plazo (pronóstico inmediato); redes de sensores inalámbricos que miden las variables atmosféricas, monitoreo del nivel de agua de pequeños arroyos y canales de drenaje y modelos hidrológicos conceptuales para estimar el peligro de inundación actual.

Existen varias tecnologías inalámbricas para la interconexión de dispositivos como Wifi, Bluetooth, LTE, SigFox, Zigbee o LoRa. Esta última utiliza un tipo de modulación en radiofrecuencia, como la AM o la FM logrando comunicaciones a largas distancias (típicamente kilómetros) y gran solidez frente a las interferencias. LoRa cumple con la necesidad de dispositivos a batería de bajo costo que necesiten enviar datos a larga distancia; pero no sirve para enviar datos con gran ancho de banda. MQTT es un protocolo de comunicación entre máquinas (M2M – machine to machine), por lo que posee características pensadas exclusivamente para este tipo de aplicaciones. Su modo de funcionamiento es a través de publicación/suscripción a un tópico, en el que publica o lee. Sus mensajes son cortos, por lo que las transmisiones de datos también lo son y esto impacta en el consumo de energía de los nodos, algo crucial en dispositivos alimentados a baterías. MQTT solo permite comunicación a través de TCP/IP y realizar identificación mediante usuario y contraseña o token y encriptación utilizando SSL/TLS.

Actualmente se cuenta con una estación meteorológica Davis Vantage Vue que puede registrar datos ambientales y mostrarlos en un computador conectado a su datalogger en tiempo real, esta estación tiene un número limitado de variables a medir y solo registra las variables del lugar en el cual se encuentre ubicada. Se ha elegido utilizar los módulos LoRa en capa física y para la comunicación con el servidor web se ha optado usar el protocolo MQTT ya que el tipo de información a enviar no requiere gran ancho de banda, se transmitirán pequeños mensajes.

Node-RED es una herramienta de desarrollo basada en flujo para programación visual desarrollada originalmente por IBM para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea como parte de Internet de las cosas de formas nuevas e interesantes.

## 4. Metodología

El Internet de las cosas es una red de objetos físicos que utiliza sensores y APIs para conectarse e intercambiar datos por internet. Inevitablemente esta interconexión se ha convertido en un impulso tecnológico muy importante y servirá para crear equipos más sofisticados donde la inmediatez esté presente. Por lo tanto, el propósito de este proyecto es explicar el diseño de un sistema inalámbrico de medición de variables ambientales (SIMEVAM), que conecta un conjunto de sensores DAVIS y ATLAS y permite la visualización en tiempo real de los datos meteorológicos obtenidos, con el fin de poder predecir posteriormente desastres naturales.

### 4.1. Descripción del sistema

El sistema se compone de dos nodos sensores, dos nodos coordinadores y un centro de datos como se evidencia en la *figura 1*. El primero de los nodos sensores es un sistema integrado de la marca DAVIS INSTRUMENTS que mide variables ambientales como temperatura, velocidad y dirección del viento, radiación, humedad, presión, entre otros. El segundo de los nodos es un conjunto de sensores de la marca ATLAS SCIENTIFIC unidos por un microcontrolador ESP32 que miden variables ambientales acuáticas como pH, potencial de reducción de oxidación ORP, oxígeno disuelto y conductividad. Estos últimos dos nodos al unirse forman la unidad de adquisición de datos. Las medidas de las variables atmosféricas son transmitidas a larga distancia a los nodos coordinadores respectivos, utilizando tecnología LoRa con el protocolo de red LoRaWAN (MQTT) y Datalogger (WeatherLinkIP) con radiofrecuencia.

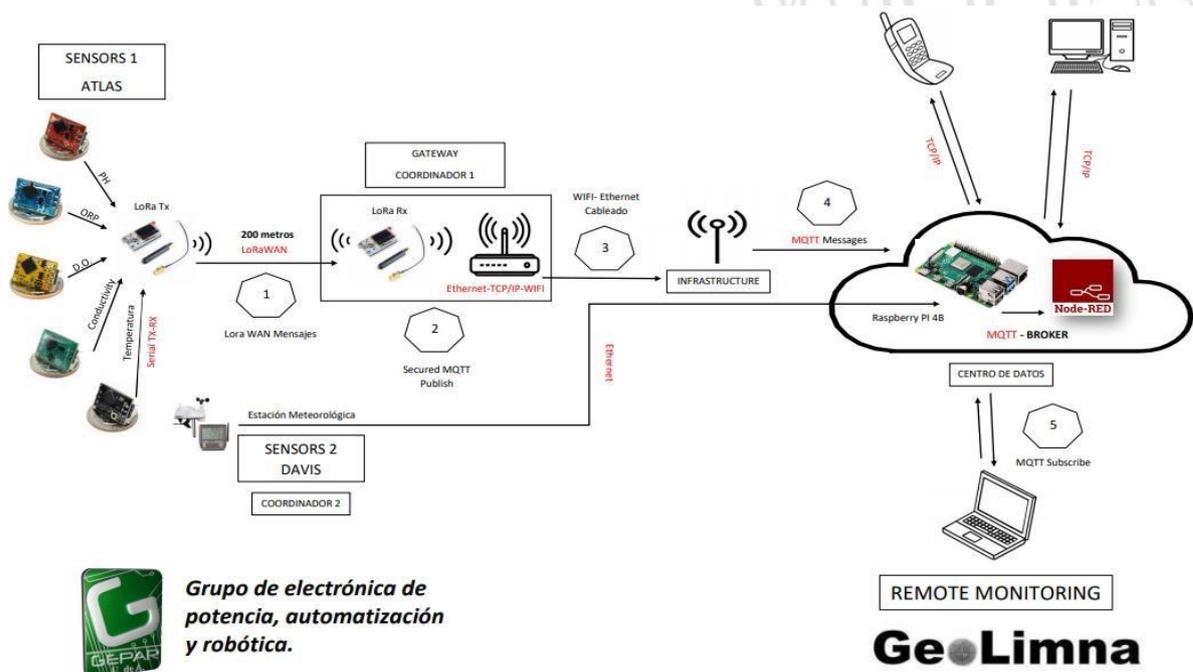


Figura 1. Esquema de comunicación SIMEVAM

Los nodos coordinadores son un par de dispositivos receptores que reciben la información proveniente de la unidad de adquisición de datos. La estación meteorológica DAVIS se comunica con el DATALOGGER + WEATHERLINKIP usando ondas de radio, mientras que el microcontrolador ESP32 (nodo sensor) se comunica con otro EPS32 (nodo coordinador) usando protocolo LoRaWAN. Estos dos últimos nodos entregan la información recibida al centro de datos por medio de comunicación ETHERNET y MQTT respectivamente.

El centro de datos está conformado por una unidad central de procesamiento Raspberry PI 4B que se encarga de recibir y almacenar la información adquirida, además de ejecutar los servicios necesarios para la descriptación de los datos (WEEWX), la comunicación del sistema (BROKER MOSQUITTO) y los software para visualización. Los datos son analizados y mostrados en un entorno gráfico con el software Node-RED, el cual muestra las gráficas en tiempo real para que los usuarios puedan observar la información remotamente desde cualquier lugar y finalmente los almacena en un archivo de texto en un directorio local. Los nodos se encuentran interconectados con topología en estrella.

#### **4.2. Selección y descripción de los componentes requeridos para el diseño del sistema:**

A continuación, se describen los requerimientos y características de los componentes utilizados para el diseño del sistema inalámbrico de medición de variables ambientales:

4.2.1. *Davis Instruments Vantage Vue (nodo sensor)*: Es un conjunto de sensores totalmente integrado y a prueba de corrosión, está diseñada para soportar todo el clima que puede brindar su ubicación: inviernos gélidos, tormentas eléctricas primaverales, sol abrasador de verano y vientos otoñales vigorosos. La comunicación de radiofrecuencia garantiza la transmisión de datos con una línea de visión de hasta 300 m. Registra velocidades del viento tan bajas como 2 mph (3 km/h) y máximas hasta 200 mph (322 km/h).

4.2.2. *Consola Vantage Vue Datalogger + WeatherLinkIP (nodo coordinador)*: Dispositivo que se conecta inalámbricamente con Davis instruments y representa gráficamente las últimas 25 horas, días o meses. Se puede observar hasta 50 gráficos de temperatura, lluvia, índice de lluvia, viento y presión barométrica. Adicionalmente pueden configurarse 22 alarmas diferentes simultáneas para advertir de peligros como vientos fuertes, temperaturas bajo cero, índice de lluvia, índice de calor, advertencia de inundaciones y más. La consola viene con un datalogger llamado WeatherLinkIP cuyo fin es extraer y almacenar la información para entregarlos vía ethernet al centro de datos.

4.2.3. *Kit ENV-SDS ATLAS (Nodo sensor)*: En conjunto con el ESP32 estos sensores conforman un nodo transmisor de variables ambientales. Este es un kit de monitorio de variables acuáticas completo. Los sensores incluyen una sonda que puede sumergirse completamente en agua dulce o salada. En total está conformado por 5 sensores: pH, ORP, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura. Adicionalmente, el kit cuenta con las soluciones necesarias para su correcta calibración. (ver anexo 1).

4.2.4. *Microcontrolador Wifi Kit ESP32 (nodo sensor – nodo controlador)*: es una placa de desarrollo de IoT clásica diseñada y producida por Heltec Automation (TM), es un producto altamente integrado basado en ESP32 (incluye Wifi y Bluetooth), sistema de administración de batería Li-Po, OLED de 0.96 " también incluido. Es la mejor opción para ciudades inteligentes, granjas inteligentes, hogares inteligentes y fabricantes de IoT.

4.2.5. *Raspberry pi 4B*: es un pequeño microprocesador de escritorio ideal para tareas específicas. Este dispositivo tiene la velocidad y el rendimiento necesario que el proyecto necesita, ya que básicamente su tarea es ser el BROKER para la comunicación bajo el protocolo MQTT y almacenar los datos obtenidos. Cuenta con una memoria RAM de 4 GB y un procesador  
Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz.

### 4.3. Software y plataforma IoT

4.3.1. *Eclipse Mosquitto*: es un servidor de mensajes de código abierto que implementa las versiones 3.1 y 3.1.1 del protocolo MQTT. MQTT proporciona un método ligero para llevar a cabo envío de mensajes utilizando un modelo de publicación/suscripción. Esto lo hace adecuado para el "Internet de las cosas" como con sensores de baja potencia o dispositivos móviles como teléfonos, ordenadores embebidos o microcontroladores como el Arduino. Mosquitto es un Broker MQTT OpenSource ampliamente utilizado debido a su ligereza lo que nos permite, fácilmente, emplearlo en gran número de ambientes, incluso si éstos son de pocos recursos.

4.3.2. *Weewx + MQTT*: es un programa de software libre, de código abierto, escrito en Python, que interactúa con la estación meteorológica DAVIS para producir gráficos, informes y páginas HTML. Opcionalmente, puede publicar en sitios meteorológicos o servidores web. Utiliza conceptos de software modernos, lo que lo hace simple, robusto y fácil de ampliar. WeeWX se ejecuta en la mayoría de las versiones de Linux. Cuenta con un plugin para soporte MQTT que le da la capacidad de publicar temas en un Broker.

4.3.3. *Node-Red + Dashboard*: es una herramienta de desarrollo basada en flujo para programación visual desarrollada originalmente para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea como parte del Internet de las cosas. Node-RED proporciona un editor de flujo basado en navegador web, que se puede utilizar para crear funciones de JavaScript. Los elementos de las aplicaciones se pueden guardar o compartir para su reutilización. El tiempo de ejecución se basa en Node.js. Los flujos creados en Node-RED se almacenan mediante JSON. Desde la versión 0.14, los nodos MQTT pueden realizar conexiones TLS configuradas correctamente.



## 5. Resultados y análisis

Para la obtención de la información de las variables ambientales en tiempo real se hará uso de los últimos avances en la tecnología para construir un sistema que sea autónomo en cuanto acceso a energía y suministro del dato y que permita monitorear variables ambientales en la zona de interés. El sistema está compuesto por tres conjuntos de equipos, uno para la toma del dato mediante sensores, otro para la transmisión de la información y por último un sistema de almacenamiento y despliegue del dato. En la figura 2 se ilustra esta arquitectura.

El microcontrolador ESP32 LoRa (Transmisor) del nodo sensor es programado para leer y procesar los valores medidos de cada uno de los sensores ATLAS, y así mismo, enviar los datos a los nodos coordinadores. El ESP32 LoRa (Receptor) es programado para recibir los datos por medio de protocolo LoRaWAN. Por otro camino, la consola + WeatherLinkIP es configurada para que reciba la información proveniente de la estación meteorológica Davis. Luego de tener los datos en este punto, los nodos coordinadores entregan la información al centro de datos por medio de protocolo MQTT y Ethernet respectivamente.

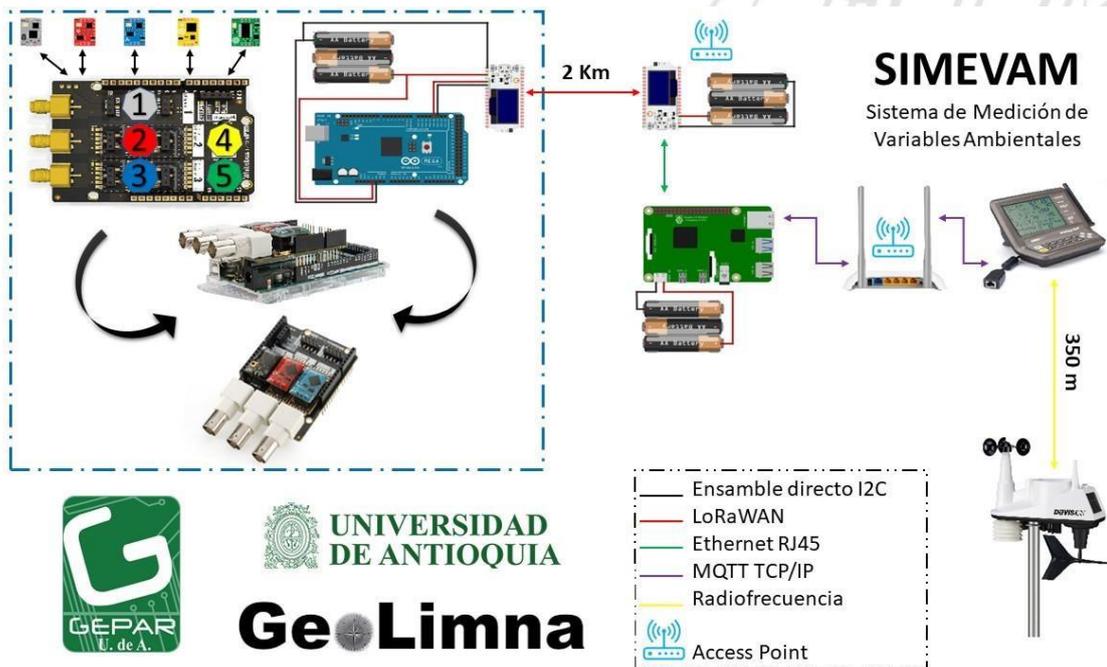




Figura 2. Diagrama de conexiones.

El datalogger WeatherLinkIP es configurado para que no suba automáticamente los datos al sitio online WeatherLink Home de Davis Instruments como viene preconfigurado de fábrica y así pueda entregar la información al centro de datos. Para realizar lo anterior se construye una red local LAN usando un Router que asigna una dirección IP dinámica al datalogger con la cual podemos realizar dicha configuración, como se observa en la figura 3. También se realiza una tabla de enrutamiento para que la información entregada por el WeatherLinkIP sea encaminada hacía la dirección IP que le asigna al puerto Ethernet de la Raspberry (centro de datos), ver figura 4.

## WeatherlinkIP Configuration

**DeviceID:001D0A010C91 Hardware:111 Firmware:113 Bootware:101**

<input checked="" type="radio"/> Obtain an IP Address Automatically. <input type="radio"/> Use the following IP Address IP Address :    192    168    10    15 Subnet Mask :    255    255    255    0 Default Gateway : 192    168    10    1 DNS Server:    192    168    10    1 <input type="button" value="Save IP Settings"/> <b>Device Key:</b> <input style="width: 100px;" type="text"/>	<b>TCP Port for serial communications</b> <input type="text" value="22222"/> <input type="checkbox"/> Upload to weatherlink.com <b>Device Key:</b> <input style="width: 100px;" type="text"/> <input type="button" value="Save Configuration"/>
<b>Diagnostic Information: DNS:1 Status:0</b>	

Figura 3. Configuración WeatherLinkIP.

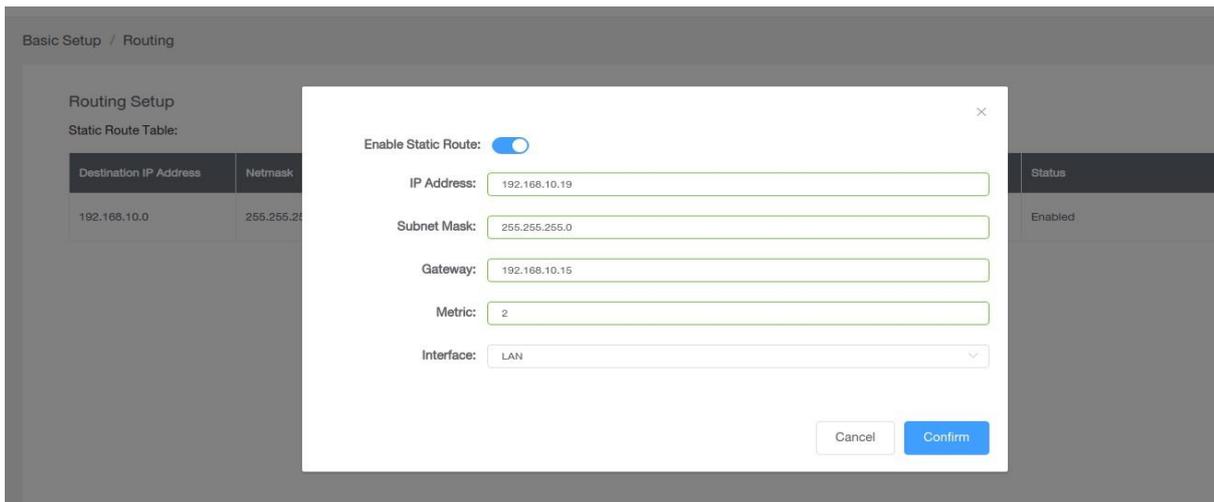


Figura 4. Tabla de enrutamiento.

El nodo coordinador compuesto por ESP32 LoRa (Receptor) es programado para enviar la información al centro de datos (BROKER) usando protocolo MQTT. El funcionamiento del MQTT es un servicio de mensajería push con patrón publicador/suscriptor (pub-sub). Por lo tanto, el nodo coordinador publica la información de los sensores en topics organizados jerárquicamente (ver anexo 2), así el cliente Node-RED puede suscribirse a este topic, y el Broker le hará llegar los mensajes suscritos. Previamente se instala en el centro de datos el servicio Eclipse Mosquitto (ver figura 5) que proporciona una biblioteca C para implementar clientes MQTT y líneas de comando `mosquitto_pub` y `mosquitto_sub`. El archivo de configuración de Mosquitto es modificado para indicarle la dirección IP del localhost y que puertos escuchar.

```

pi@raspberrypi:~ $ sudo service mosquitto status
● mosquitto.service - Mosquitto MQTT v3.1/v3.1.1 Broker
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/mosquitto.service; enabled; vendor preset: enabled)
   Active: active (running) since Wed 2021-04-07 00:51:37 -05; 18h ago
     Docs: man:mosquitto.conf(5)
           man:mosquitto(8)
  Main PID: 530 (mosquitto)
    Tasks: 1 (limit: 4915)
   CGroup: /system.slice/mosquitto.service
           └─530 /usr/sbin/mosquitto -c /etc/mosquitto/mosquitto.conf

abr 07 00:51:36 raspberrypi systemd[1]: Starting Mosquitto MQTT v3.1/v3.1.1 Broker...
abr 07 00:51:37 raspberrypi systemd[1]: Started Mosquitto MQTT v3.1/v3.1.1 Broker.

```

Figura 5. Estado servicio Mosquitto.

La estación meteorológica Davis Instruments, la consola Vantage Vue y el datalogger WeatherLinkIP al ser dispositivos construidos por una empresa privada tiene un esquema de cifrado integrado que proporciona seguridad en los datos. Para descifrar la información leída por los sensores Davis, se instala el software de código abierto WeeWX (ver figura 6 y 7) diseñado precisamente para cumplir dicha tarea. Es importante conocer previamente la dirección IP que el Router asigna al datalogger ya que esta debe ser modificada en el

archivo de configuración de Weewx. Adicionalmente se instala un plugin Weewx-MQTT con el fin de que los datos descriptados puedan publicarse en el Broker y clientes externos puedan suscribirse a ellos.

```

pi@raspberrypi:~$ sudo /etc/init.d/weewx status
● weewx.service - LSB: weewx weather system
   Loaded: loaded (/etc/init.d/weewx; generated)
   Active: active (running) since Wed 2021-04-07 19:21:03 -05; 2min 36s ago
     Docs: man:systemd-sysv-generator(8)
  Process: 8707 ExecStart=/etc/init.d/weewx start (code=exited, status=0/SUCCESS)
    Tasks: 2 (limit: 4915)
   CGroup: /system.slice/weewx.service
           └─8723 python2 /usr/share/weewx/weewxd --daemon --pidfile=/var/run/weewx.pid /etc/weewx/weewx.conf

abr 07 19:22:18 raspberrypi python2[8723]: weewx[8723] INFO weewx.restx: MQTT: Published record 2021-04-07 19:22:00 -05 (1617841320)
abr 07 19:22:21 raspberrypi python2[8723]: weewx[8723] INFO weewx.cheetahgenerator: Generated 8 files for report SeasonsReport in 3.30 seconds
abr 07 19:22:22 raspberrypi python2[8723]: weewx[8723] INFO weewx.imagegenerator: Generated 15 images for report SeasonsReport in 0.89 seconds
abr 07 19:22:22 raspberrypi python2[8723]: weewx[8723] INFO weewx.reportengine: Copied 5 files to /var/www/html/weewx
abr 07 19:23:17 raspberrypi python2[8723]: weewx[8723] INFO weewx.manager: Added record 2021-04-07 19:23:00 -05 (1617841380) to database 'weewx.sdb'
abr 07 19:23:17 raspberrypi python2[8723]: weewx[8723] INFO weewx.manager: Added record 2021-04-07 19:23:00 -05 (1617841380) to daily summary in 'weewx.sdb'
abr 07 19:23:18 raspberrypi python2[8723]: weewx[8723] INFO weewx.restx: MQTT: Published record 2021-04-07 19:23:00 -05 (1617841380)
abr 07 19:23:19 raspberrypi python2[8723]: weewx[8723] INFO weewx.cheetahgenerator: Generated 8 files for report SeasonsReport in 1.25 seconds
abr 07 19:23:20 raspberrypi python2[8723]: weewx[8723] INFO weewx.imagegenerator: Generated 15 images for report SeasonsReport in 0.81 seconds
abr 07 19:23:20 raspberrypi python2[8723]: weewx[8723] INFO weewx.reportengine: Copied 0 files to /var/www/html/weewx

```

Figura 6. Estado servicio Weewx

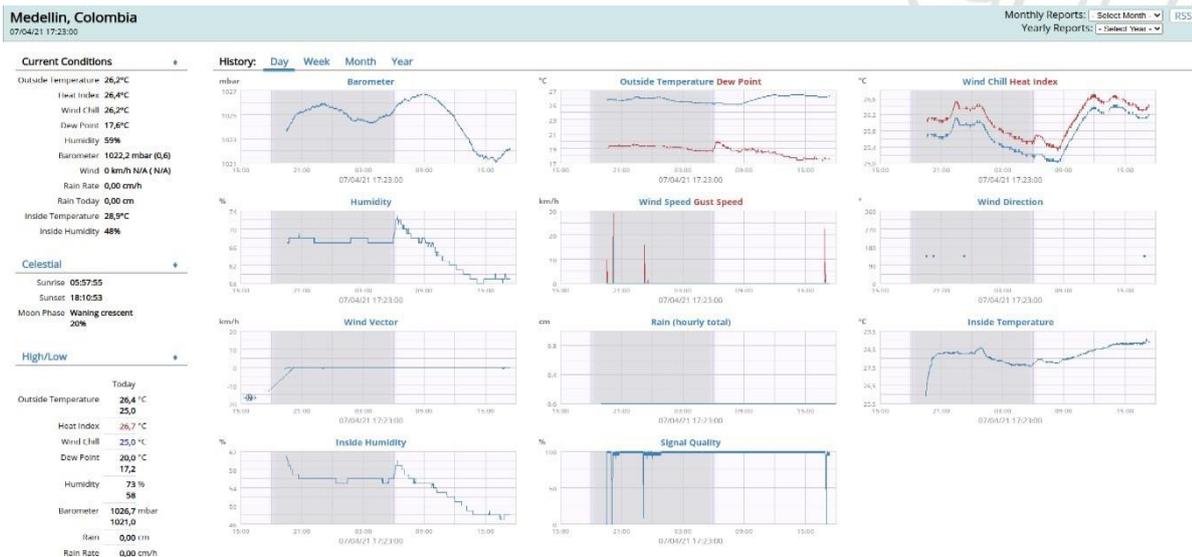


Figura 7. Software meteorológico Weewx

La etapa final del sistema lee y muestra los datos graficados, para tal fin se hace uso del software Node-RED. La función principal de esta interfaz de usuario es monitorear las variables ambientales del sistema y graficarlas en tiempo real. Node-RED posee una gran cantidad de nodos que pueden adicionarse según sea necesario, por ejemplo, hemos incorporado una nueva funcionalidad llamada Dashboard que se encarga específicamente de crear el Front-end de la interfaz, ver figura 8 y 9. El diseño del Dashboard debe considerarse como una cuadrícula. Cada elemento del grupo tiene un ancho: de forma predeterminada, 6 ‘unidades’ (una unidad tiene 48 píxeles de ancho de forma predeterminada con un espacio de 6 píxeles).

```
pi@raspberrypi:~$ sudo service nodered status
● nodered.service - Node-RED graphical event wiring tool
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/nodered.service; enabled; vendor preset: enabled)
   Active: active (running) since Wed 2021-04-07 00:51:35 -05; 18h ago
     Docs: http://nodered.org/docs/hardware/raspberrypi.html
   Main PID: 392 (node)
     Tasks: 11 (limit: 4915)
    CGroup: /system.slice/nodered.service
           └─392 node-red

abr 07 00:51:46 raspberrypi Node-RED[392]: file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
abr 07 00:51:46 raspberrypi Node-RED[392]: your credentials.
abr 07 00:51:46 raspberrypi Node-RED[392]: You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
abr 07 00:51:46 raspberrypi Node-RED[392]: your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
abr 07 00:51:46 raspberrypi Node-RED[392]: file using your chosen key the next time you deploy a change.
abr 07 00:51:46 raspberrypi Node-RED[392]: -----
abr 07 00:51:46 raspberrypi Node-RED[392]: 7 Apr 00:51:46 - [info] Starting flows
abr 07 00:51:47 raspberrypi Node-RED[392]: 7 Apr 00:51:47 - [info] Started flows
abr 07 00:51:47 raspberrypi Node-RED[392]: 7 Apr 00:51:47 - [info] [mqtt-broker:dbf40a80.1f05c8] Connected to broker: mqtt://localhost:1884
```

Figura 8. Estado servicio Node-RED

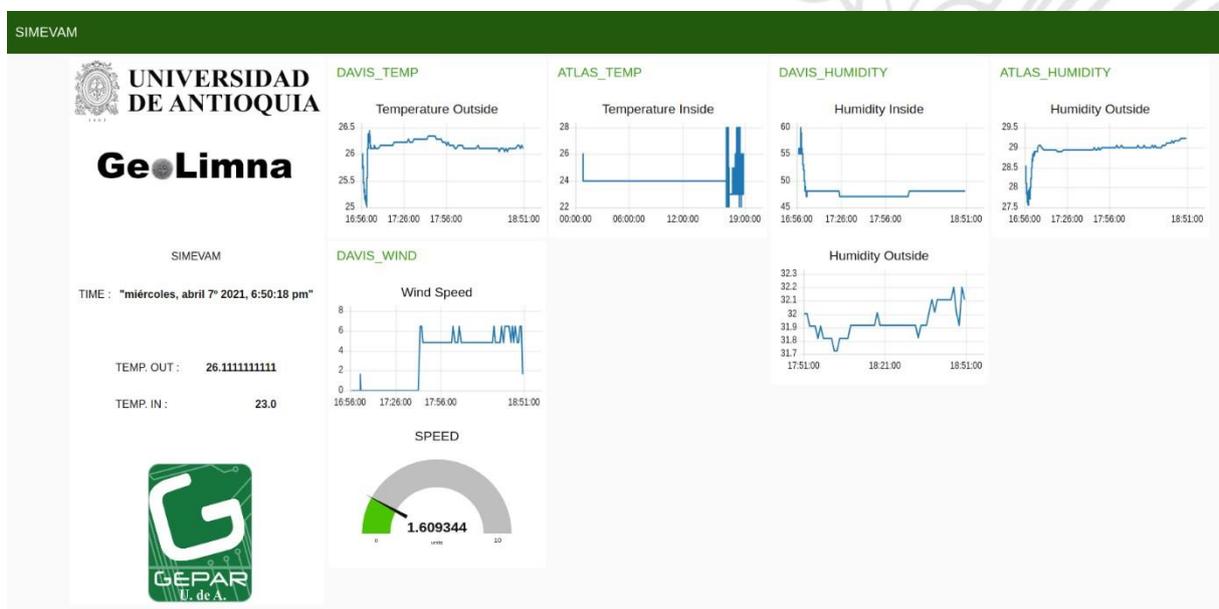


Figura 9. Front-end generado por Node-RED, graficas en tiempo real.

De manera preinstalada Node-RED cuenta con nodos MQTT para suscribirse y publicar datos, de esta manera logramos que Node-RED acceda al host y se suscriba a la información proveniente desde los sensores DAVIS y ATLAS como se observa en la figura 10. La ventaja que ofrece este software es que está orientado a la programación de flujo de datos IoT por lo que se facilita la distribución de la interfaz y la visualización de los graficas pertinentes de acuerdo con el tipo de dato.

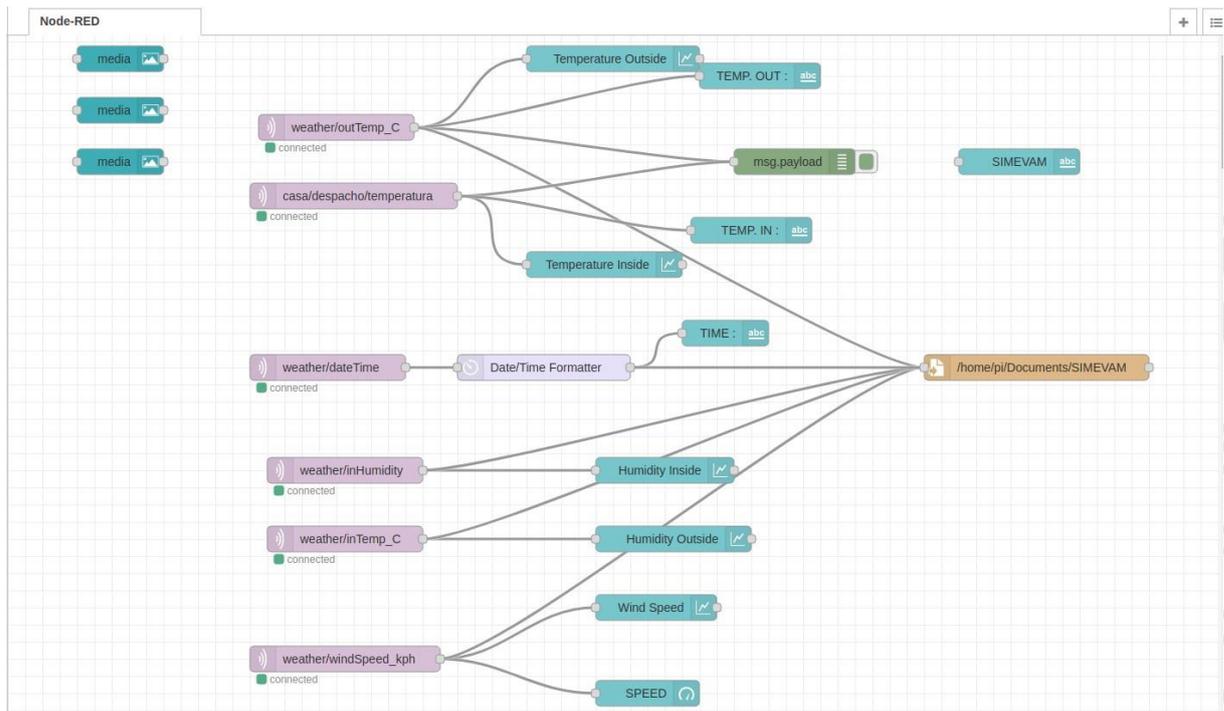


Figura 10. Editor Node-RED, interconexión de nodos MQTT, Dashboard y File.

El sistema tiene la posibilidad de almacenar la información en una base de datos, esta puede ser fácilmente exportada en formato TXT con los valores medidos en cada nodo sensor con respectiva fecha y hora, donde es posible seleccionar los datos por días, semana y meses para ser analizados. Un requisito general del sistema para su correcto funcionamiento es la sincronización de fecha y hora entre todas las partes que conforman el diseño, para esto se hizo necesaria la instalación de un servicio adicional llamado NTP (Network Time Protocol) que se encarga de actualizar constantemente los relojes de sistemas informáticos. Finalmente, todo SIMEVAM es configurable, podemos cambiar parámetros como la frecuencia con la cual se publica un nuevo dato, la escala de las abscisas en las gráficas, los puertos y direcciones IP a través de los cuales se está enviando la información, el nombre de los topic, adicionar más nodos sensores, crear una red de puntos meteorológicos interconectados a nivel mundial, entre muchas configuraciones más. SIMEVAM tiene la habilidad para reaccionar y adaptarse sin perder calidad, o bien manejar el crecimiento continuo de trabajo de manera fluida ya que está preparado para hacerse más cada vez más grande.

## 6. Compromisos y Alcances

Este proyecto hace parte del macroproyecto SIMEVAM con código 2020-37870 presentado a la SIIU en el eje temático impacto de la misión institucional. Así entonces, los estudiantes mencionados al inicio de este documento en colaboración con los grupos Gepar y GeoLimna se comprometen a elaborar un manuscrito de texto para enviar a revistas científicas con los principales resultados del proyecto, adicionalmente realizarán el registro de software junto con la documentación y manuales de usuario, dando continuidad al proyecto de investigación SIMEVAM.

Como alcance del proyecto si se instala en un punto de coordenadas medidas con precisión, un kit de captura de datos, con dispositivos electrónicos, para medir variables como: altura de la columna de agua, su transparencia, temperatura, concentración de oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, y algunas variables meteorológicas como precipitación, velocidad y dirección del viento, humedad, temperatura del ambiente, evaporación, con datos suministrados cada hora del día a orillas de la ciénaga de Ayapel, entonces es posible obtener datos anclados a un sistema de información computacional y en red, que le permita a los observadores obtener información suficiente, en algunos años, para presentar modelos pronósticos de posible inundación en el sistema y de algunos aspectos relacionados con la calidad de agua. Así las cosas, la comunidad en la zona podrá contar con una herramienta a largo plazo que les permita armonizar su vida con los posibles eventos de inundación en el sistema cenagoso de Ayapel.

## 7. Conclusiones

- 7.1. En la actualidad el IoT (Internet of things - Internet de las cosas) es una de las tendencias más claras en el ámbito de monitoreo de variables, debido a que facilita el control, trazabilidad y análisis de procesos desde cualquier parte del mundo.
- 7.2. El laboratorio electrónico “Atlas Scientific Environmental Robotics”, cuenta con una amplia gama de dispositivos para la medición de variables ambientales. Esto facilita el diseño de la arquitectura debido a su bajo costo y compatibilidad con el resto de los dispositivos dentro del proyecto.
- 7.3. Se pudo evidenciar como LoRaWAN es una tecnología viable para aplicaciones IoT de baja sensibilidad a latencia, pero de gran cobertura, tales como domótica, de agricultura y meteorológicas. Estas tecnologías ofrecen un gran alcance, larga vida de la batería y un bajo costo de producción a cambio de una menor frecuencia de transmisión de datos.
- 7.4. Los avances en controladores y sistemas operativos han dado paso al soporte de protocolos como MQTT para envío de información. En este caso se hizo uso de Mosquitto, confirmando este como un Broker MQTT muy eficiente, capaz de soportar un gran número de clientes conectados sin apenas consumir recursos de la máquina. Adicionalmente, su configuración es sencilla, permitiendo en pocos pasos: suministrar a MQTT de comunicación segura entre dispositivos, establecer una red de Broker para mayor escalabilidad y control de acceso a topics por clientes. MQTT, por sus características y principios de diseño, cumple con los requisitos que requiere una infraestructura para el IoT.
- 7.5. El uso de software libre se hace notable en este proyecto, el cual centra su procesamiento en el microprocesador Raspberry PI y mediante el software meteorológico WEEWX junto con el plugin MQTT para el mismo, logra extraer la data proveniente de la estación meteorológica DAVIS VANTAGE VUE. Este tipo de dispositivos cuentan con un software de fábrica para visualizar los datos, no obstante, tiene funciones muy limitadas dentro de su versión gratuita, debido a esto se genera la necesidad del uso de software alternativos de libre acceso para el manejo y mejor análisis de las variables monitoreadas.

7.6. Se recomienda para cualquier proyecto, buscar primero alternativas en software y hardware libre ya que se pueden obtener resultados iguales o mejores, con una inversión menor en la investigación, fomentando más el aprendizaje y conocimiento de libre acceso.

7.7. El diseño del sistema de medición y monitoreo remoto de variables ambientales en tiempo real con tecnología LoRa y protocolo MQTT, dado su bajo costo, es rentable para los usuarios, de fácil implementación y gran cobertura, debido a la integración de hardware y software libre. Abriendo grandes posibilidades para su soporte y posibles mejoras futuras.



## 8. Referencias Bibliográficas

- 8.1 Ossa Duque, Sergio Iván. Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. Especialista en Redes y Telecomunicaciones. Ingeniero Electrónico. Gestor Línea Electrónica y Telecomunicaciones, Tecno Parque Nodo Manizales. SENA Regional. Caldas, Centro de Procesos Industriales y Construcción. Manizales, Colombia. 2017.
- 8.2 Kejie Lu, Yi Qian, Domingo Rodríguez, Wilson Rivera, Manual Rodríguez. Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring Applications: A Design Framework. Department of Electrical and Computer Engineering University of Puerto Rico at Mayagüez, Mayagüez, PR 00681, USA
- 8.3. Brandon P. Wong, Branko Kerkez. Real-time environmental sensor data: An application to water quality using web services. Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, United States. 2016.
- 8.4. Sebastian Bader, Enabling Autonomous Environmental Measurement Systems with Low-Power Wireless Sensor Networks. Electronics Design Division, in the Department of Information Technology and Media Mid Sweden University, SE-851 70 Sundsvall, Sweden. 2011.
- 8.5. Tecnología Lora y Lora WAN. [en línea]. <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>. 10 nov, 2008.
- 8.6. Hardware libré. MQTT: un protocolo abierto de red y su importancia en el IoT. [en línea]. <https://www.hwlibre.com/mqtt/>. 10 nov, 2008.
- 8.7. InSak. DAVIS Davis Instruments. [en línea]. [https://insak.com.co/aym\\_image/files/03-ESTACI%C3%93N%20METEOROL%C3%93GICA%20DAVIS%20VANTAGE%20VUE%206250.pdf](https://insak.com.co/aym_image/files/03-ESTACI%C3%93N%20METEOROL%C3%93GICA%20DAVIS%20VANTAGE%20VUE%206250.pdf) 10 nov, 2008.
- 8.8. WeeWX Open-source software for your weather station. WeeWX. [en línea]. <https://weewx.com/docs/usersguide.htm> 11 oct, 2009.
- 8.9. Acosta-Coll, M., Ballester-Merelo, F., Martínez-Peiró, M., & De la Hoz-Franco, E. (2018). Real-time early warning system design for pluvial flash floods—a review. Sensors (Switzerland). <https://doi.org/10.3390/s18072255>

## Anexos

### - Anexo 1.

Tabla 1. Especificaciones técnicas sensores Atlas.

Reads	pH	ORP	Dissolved Oxygen	Conductivity = $\mu\text{S/cm}$	Temperature
<b>Range</b>	.001 – 14.000	-1019.9mV – 1019.9mV	0.01 – 100+ mg/L	0.07 – 500,000+ $\mu\text{S/cm}$	-126.000 °C – 1254 °C
<b>Resolution</b>	.001	N/A	N/A	N/A	0.001
<b>Accuracy</b>	+/- 0.002	+/- 1mV	+/- 0.05 mg/L	+/- 2%	+/- (0.1 + 0.0017 x °C)
<b>Response time</b>	1 reading per sec				
<b>Supported probes</b>	Any type & brand	Any type & brand	Any galvanic probe	K 0.1 – K 10 any brand	Any type & brand PT-100 or PT-1000 RTD
<b>Calibration</b>	1, 2, 3 point	Single point	1 or 2 point	2 or 3 point	Single point
<b>Temp. compensation</b>	Yes	N/A	Yes	Yes	°C, °K, or °F
<b>Data protocol</b>	UART & I2C				
<b>Default I2C address</b>	99 (0x63)	98 (0x62)	97 (0x61)	100 (0x64)	102 (0x66)
<b>Operating voltage</b>	3.3V – 5V	3.3V – 5V	3.3V – 5V	3.3V – 5V	3.3V – 5.5V
<b>Data format</b>	ASCII	ASCII	ASCII	ASCII	ASCII
<b>Circuit dimensions</b>	13.97mm x 20.16mm (0.55" x 0.79")				
<b>Weight</b>	1.76 grams	1.86 grams	1.77 grams	1.77 grams	1.76 grams

### - Anexo 2

Tabla 2. Topics MQTT

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	TOPIC MQTT	
DAVIS VANTAGE VUE	weather/loop	weather/status
	weather/cloudbase_meter	weather/windGust_kph
	weather/outHumidity	weather/humidex_C
	weather/pressure_mbar	weather/rain24_cm
	weather/rain_cm	weather/rxCheckPercent
	weather/barometer_mbar	weather/hourRain_cm
	weather/dewpoint_C	weather/inTemp_C
	weather/rainTotal	weather/windSpeed_kph
	weather/ptr	weather/usUnits
	weather/illuminance	weather/UV
	weather/heatindex_C	weather/rainRate_cm_per_hour
	weather/dayRain_cm	weather/dateTime
	weather/outTempBatteryStatus	weather/windDir
	weather/delay	weather/inHumidity
	weather/inDewpoint	weather/radiation_Wpm2
	weather/altimeter_mbar	weather/appTemp_C
weather/windchill_C	weather/outTemp_C	
ATLAS SCIENTIFIC	Atlas/water/conductivity	Atlas/water/oxygen
	Atlas/water/ORP	Atlas/water/temperature
	Atlas/water/pH	