



Sistema remoto para la medición y registro de variables ambientales

Cristian Alexis Quintana Valencia

Informe de prácticas para optar al título de Ingeniero Electrónico

Asesores

David Stephen Fernández MC Cann – Doctorado en Telecomunicaciones

Fabio de Jesús Vélez Macías – Maestría en Geografía

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Electrónica
Medellín, Antioquia, Colombia.

2022

Cita	(Quintana Valencia, C., 2022)
Referencia	Quintana Valencia, C. (2022). <i>Sistema remoto para la medición y registro de variables ambientales</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
Estilo APA 7 (2020)	



Grupos de Investigación GEPAR y Geolimna.



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Jhon Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Augusto Enrique Salazar Jiménez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Resumen

Los grupos de investigación GEPAR y Geolimna de la Universidad de Antioquia se encontraron liderando un macroproyecto llamado SIMEVAM con código SIIU 2020-37870, donde se diseñó un sistema remoto que midió y registró variables ambientales en un repositorio que se encuentra alojado en la nube, este se conectó al sistema de visualización GEOVAM, donde se pudieron observar los históricos de las diferentes variables en tiempo real y desde que se conectó recopila los datos medidos sin pérdida. Cada minuto se obtuvo un valor de cada variable, esto con el fin de no saturar el sistema y al mismo tiempo es garante de que no se duplicaran datos. De esta manera se logró un comportamiento fiable para su posterior análisis.

Para llevar los datos hasta la nube se hizo necesario conectar cada sensor de la empresa Atlas Scientific | Environmental Robotics (Ver material complementario¹) a la placa Whitebox T2 (Visitar para mayor información²), donde se facilitó la conexión de ellos, al estar sobrepuesta en el Arduino Mega 2560 (Ver para ampliar información³) toma la asignación de pines igual a éste. Los datos capturados por los sensores se transportaron hasta el módulo transmisor Heltec WiFi Lora 32 (Visitar para más información⁴), a través del puerto serial. Otro módulo igual al mencionado recibió los datos por medio de una comunicación de radiofrecuencia, manteniendo la comunicación estable hasta una distancia de hasta 200 m. Este módulo receptor se comunicó mediante puerto serial con un Node MCU 1.0 (Ver información complementaria⁵), donde finalmente se cargaron los datos a una base de datos llamada App_SIREMEVAM, ubicada en el dominio de Firebase, una plataforma que pertenece a los servicios de Google. Luego, los datos se publicaron cada minuto en un documento de Google Sheets llamado SIREMEVAM en formato .csv, donde cada ejecución del programa tiene la información de la fecha y la hora del registro del dato para finalmente poder visualizarlo en los históricos, en una página con dominio geovam.udea.edu.co donde se pueden encontrar todas las estaciones meteorológicas con sus respectivas ubicaciones y, además, poder acceder a los gráficos de cada una. Por otra parte, se diseñó y utilizó la aplicación móvil SIREMEVAM, que se programó en Kodular, un sitio web código abierto, que permite la construcción y distribución de aplicaciones móviles sencillas, desde aquí se pudo consultar los datos en tiempo

real desde un dispositivo diferente al computador ubicado en el centro de datos y de igual manera poder acceder a los históricos.

Asimismo, se diseñó y construyó la estructura donde se ubicó el Arduino Mega 2560, los sensores Atlas Scientific | Environmental Robotics y el módulo transmisor Heltec WiFi Lora 32 con su respectiva alimentación para garantizar una excelente comunicación unilateral entre los puntos. Además, se mostró todo el proceso de diseño e implementación con sus diferentes etapas y se dio acceso a la información a los partícipes del proyecto.

Introducción

En la actualidad los sistemas meteorológicos y ambientales se han transformado para proporcionar información desde lugares geográficamente apartados pues los datos que se obtienen dan cuenta de la calidad del agua y del aire, aportando a resolver los problemas de contaminación ambiental que contribuye a otras problemáticas que concierne a toda la población como son el calentamiento global, efecto invernadero, entre otros. Los climatólogos están muy preocupados porque cada día las temperaturas fluctúan en intervalos inusuales. Asimismo, se cuenta con la primera fase del macroproyecto SIMEVAM, donde se lograron extraer los datos ambientales desde la estación Davi's (Ver material complementario⁶) con sus respectivos históricos.

Es por esto, que se quiere aportar desde el conocimiento electrónico con el proyecto SIREMEVAM, puesto que se entregan datos e históricos de cada una de las variables determinantes para evitar estos fenómenos y a su vez se puedan construir modelos de predicción de precipitaciones e inundaciones en la ciénaga de Ayapel y en otros sitios con condiciones similares. Además, se tiene a disposición una aplicación móvil para la consulta desde cualquier dispositivo con acceso a internet. Por otra parte, existe un factor determinante para que el sistema funcione correctamente y es la energización del sistema. El sistema se pensó con una comunicación punto a punto, el punto remoto A (sensores - transmisor) ubicado en un lugar estratégico y en contacto con el agua, captura las mediciones y las transmite a través del Lora WiFi 32 por medio de radiofrecuencia hasta el punto B (receptor - publicador) donde recibe la información el otro módulo Lora WiFi 32 y el NodeMCU 1.0 se encarga de publicar los datos en el repositorio Firebase, todo

esto desde el centro de datos, un lugar que debe estar a 200 m como mínimo para que la comunicación sea estable. Así que se debe contar con acceso a internet en el punto B para poder visualizar los datos tanto en la base de datos como en el archivo .csv y este a su vez es necesario para observar los gráficos, todo esto en tiempo real.

Es necesario recopilar los datos durante varios años para poder analizar y realizar modelos para la prevención de catástrofes naturales. De igual manera se espera que se puedan incorporar más sensores para que el sistema sea robusto, completo y que todo este trabajo investigativo esté disponible para su distribución y en bien de la comunidad.

Objetivos

Objetivo general:

Diseñar y construir un sistema que permita transmitir y almacenar datos de sensores remotos para el proyecto SIMEVAM con código SIIU 2020-37870, con el fin de hacerlos visibles en la aplicación web GEOVAM (Ver enlace⁷) y app móvil del sistema y su posterior uso en la construcción de modelos de predicción.

Objetivos específicos:

1. Determinar el nuevo conjunto de variables ambientales relacionadas con la calidad del aire y el agua que puedan ser medidas mediante dispositivos electrónicos comerciales.
2. Integrar nuevos sensores a la arquitectura existente de SIMEVAM donde se tiene la distribución física de sensores con su acceso al medio, accediendo a estos datos de manera local y se integraran nuevos datos a los ya suministrados y se realizará el diseño para la transmisión de todos ellos a través de módulos inalámbricos como los basados en LoraWAN con el que se llevarán hasta un acceso de internet para llevar los datos a un repositorio tipo drive y en formato .csv.

3. Integrar los datos transmitidos en el LoraWAN receptor a la base de datos en tiempo real que se encuentra disponible en el servidor de aplicaciones de Google a través del protocolo Firebase Cloud Messaging (FCM) donde se pueden consultar en cualquier parte del mundo y en todo instante, posteriormente se conecta con los servicios de Google Sheets y de allí se transmitirán hacia GEOVAM para su posterior análisis por parte de los investigadores del proyecto SIMEVAM.
4. Realizar una aplicación móvil sencilla en Kodular no preexistente en la fase uno, donde se pueda visualizar el comportamiento del sistema remoto para la medición y registro de variables ambientales en tiempo real.

Marco Teórico

Colombia es un país altamente vulnerable a los efectos del calentamiento global y la variación climática (VC), por la recurrencia de eventos climáticos extremos, siendo El Niño Oscilación del Sur (ENOS), en sus fases, cálida (El Niño) y fría (La Niña); el modo dominante de VC y el fenómeno natural de mayor impacto socioeconómico en Latinoamérica, por su potencial para desencadenar sequías, inundaciones, olas de frío o de calor y tormentas, entre otros (Carvajal et al., 2007; Bedoya et al., 2010; García et al, 2012). Un ejemplo de pérdidas económicas por eventos climáticos es el fenómeno "La Niña" de 2010-2011, que dejó cerca de 5,2 millones de personas afectadas y pérdidas económicas estimadas en \$8,6 billones, reflejando la complejidad de las condiciones de riesgo existentes en el país y los vacíos y deficiencias en la capacidad de gestión del riesgo (Campos et al, 2012; Sedano et al, 2013).

Según el informe Stern (2007), actuar hoy frente al cambio climático (CC) resulta menos costoso que afrontar las pérdidas que generarían sus impactos futuros sobre la economía. Entre las estrategias para enfrentar el CC, la gestión del riesgo representa un elemento clave, ya que trata de suministrar información a la comunidad sobre los distintos fenómenos hidrometeorológicos, con el fin de reducir sus impactos. De las diferentes acciones que se enmarcan en este concepto, los sistemas de alertas tempranas (SAT) son una de las principales estrategias de adaptación frente al CC, que procuran evitar pérdida de vidas y disminuir los impactos económicos, sociales y ambientales, especialmente en las poblaciones

más vulnerables. La eficacia de estos sistemas radica en la participación de las comunidades, siendo la educación, la base para tomar conciencia de los riesgos a los que se enfrentan.

Como lo explica Alai Secure (2022) en su investigación sobre la red LoRaWAN:

La tecnología IoT concede la posibilidad de que millones de dispositivos se conecten, midan y supervisen para automatizar procesos y operaciones para una mejor toma de decisiones. El auge de este sistema está respaldado por las redes de área de bajo consumo (LPWAN) que permiten la transferencia de información a bajo coste. En este sentido, la tecnología LoRaWAN destaca por optimizar LPWAN para la vida útil, capacidad, rango y coste de la batería. LoRaWAN es un protocolo de red punto a multipunto que utiliza el esquema de modulación LoRa de Semtech.

MQTT Se trata de un protocolo de mensajería ligero para usar en casos de clientes que necesitan una huella de código pequeña, que están conectados a redes no fiables o con recursos limitados en cuanto al ancho de banda. Se utiliza principalmente para comunicaciones de máquina a máquina (M2M) o conexiones del tipo de Internet de las cosas. MQTT se ejecuta sobre TCP/IP utilizando una topología PUSH/SUBSCRIBE. En la arquitectura MQTT, existen dos tipos de sistemas: clientes y brókeres. Un bróker es el servidor con el que se comunican los clientes: recibe comunicaciones de unos y se las envía a otros. Los clientes no se comunican directamente entre sí, sino que se conectan con el bróker. Cada cliente puede ser un editor, un suscriptor o ambos.

Como lo exponen en el sitio web de la compañía Digital55 (2020) en su artículo sobre Firebase:

Firebase de Google es una plataforma en la nube para el desarrollo de aplicaciones web y móvil. Está disponible para distintas plataformas (iOS, Android y web), con lo que es más rápido trabajar en el desarrollo. Sus herramientas son variadas y de fácil uso, considerando que su agrupación simplifica las tareas de gestión a una misma plataforma. Las finalidades de estas se pueden dividir en cuatro grupos: desarrollo, crecimiento, monetización y análisis. Una de las herramientas más destacadas y esenciales de Firebase son las bases de datos en tiempo real. Estas se alojan en la nube, son No SQL y almacenan los datos como JSON. Permiten alojar

y disponer de los datos e información de la aplicación en tiempo real, manteniéndolos actualizados, aunque el usuario no realice ninguna acción.

Kodular es una plataforma que permite a los usuarios crear aplicaciones a través de diferentes módulos sin ningún tipo de codificación. La plataforma viene con un increíble creador de aplicaciones de arrastrar y soltar que permite a los usuarios convertir sus ideas en aplicaciones. Es una solución basada en la nube alojada por Google Cloud Platform, que mantiene todos los proyectos seguros y almacenados en los servidores. La plataforma viene con un diseño de material oficial que brinda a los usuarios una interfaz de usuario limpia y fácil de usar. Además, proporciona un tiempo de actividad del cien por cien a través de su potente infraestructura de servidores las 24 horas del día. Los usuarios pueden ver los cambios realizados en las aplicaciones en tiempo real. Kodular ofrece un sistema de código basado en bloques para que los usuarios programen sus aplicaciones y es compatible con todos los dispositivos Android desde Android 4.1. Permite a los usuarios monetizar sus aplicaciones agregando la función de anuncios en ella. Los usuarios pueden integrar varios idiomas, compras en la aplicación y otras funciones relacionadas.

Metodología

Este proyecto pretendió explicar el diseño, construcción e implementación de un sistema remoto que midió variables que cuentan la calidad del agua en diferentes sitios, desde la pileta ubicada en la Universidad de Antioquia, el parque norte y posteriormente, el sitio de interés, la ciénaga de Ayapel. Los datos obtenidos se transmitieron a través de diferentes dispositivos y con comunicaciones serial, de radiofrecuencia y WiFi, hasta llegar a un sitio en la nube, donde se encuentra una base de datos en tiempo real, Firebase. Además, se logró conectar todo el sistema a la página web donde se encuentran las demás estaciones meteorológicas de los grupos Geolimna y GEPAR, que tiene por nombre GEOVAM. Allí se pudieron consultar los históricos de cada variable medida y con la ventaja de acceder a estos datos en cualquier momento y desde cualquier parte del mundo desde que se cuente con un dispositivo inteligente y con acceso a internet. Todo esto fue posible porque se adquirieron conocimientos de Internet de las cosas IoT, por sus siglas en inglés, que se entiende como una red que integra dispositivos físicos (sensores) y APIs para conectarse e intercambiar datos por internet. Esta interconexión cada vez agrupa diferentes intereses y uno de ellos es la inmediatez,

pues es más eficiente establecer la comunicación en tiempo real con el fin de no tener datos repetidos y evitar pérdida de información, pues al controlar los tiempos de envío y recepción de datos, se pudo garantizar que en todo momento los datos lleguen hasta su destino final sin interrupciones ni errores.

Se quería modificar el enrutado de los datos que miden los sensores Atlas Scientific | Environmental Robotics, pues en el proyecto SIMEVAM se encontraban conectados directamente al Heltec WiFi Lora 32, se transmitieron hasta el punto receptor donde se tenía otro dispositivo igual, luego se conectaba a un módem enrutador donde finalmente llegaban hasta la raspberry PI 4B, al publicar los datos en un software llamado NodeRED, se podían visualizar en tiempo real con sus respectivos históricos.

Es por esto por lo que se rediseñó todo el sistema para que la información llegara más rápido y se pudiera conectar esta información a GEOVAM. Para esto se hizo necesario cambiar la conexión de los sensores directamente al Arduino Mega 250, donde perfectamente se acopló la placa Whitebox T2, permitiendo facilitar la conexión de las puntas de los sensores, teniendo esto, se conectó a través del puerto serial con el Heltec Lora WiFi 32, comprobando que los datos medidos desde el agua llegaran hasta este punto, al que se le llamó punto A o transmisor. Posteriormente se enviaron los datos a través de la comunicación de radiofrecuencia que poseen los dispositivos Heltec mediante el protocolo LoraWAN, llegando al punto B o receptor, en este punto se ratificó que la comunicación fuese estable y además que tuvieran un alcance de hasta 200m sin pérdidas de información. Posteriormente, se transmitieron los datos por el puerto serial a un NodeMCU 1.0, donde las pruebas fueron exitosas. Luego, estos datos se publicaron a través de WiFi en Firebase, donde se creó una base de datos de tiempo real y se puede apreciar que cada de cambie un dato se refleja inmediatamente en este repositorio. Teniendo esto, se pudo conectar en una hoja de cálculo, Google Sheets, donde se pudo acceder al código base, con la extensión de App Scripts, en este sitio, se puede ordenar como se quiere visualizar la información en el archivo .csv y la vez dar cumplimiento al formato exigido por GEOVAM, con el formato de la fecha, títulos y unidades. Además, se puede controlar cada cuanto tiempo se ejecuta el código, por lo que se eligió que sea cada minuto, es decir, cada minuto se va a publicar un dato desde la base de datos de Firebase en la hoja de cálculo. Al tener esto funcional, se siguió la guía de

registro en la página web GEOVAM, llenando unos formatos necesarios y logrando visualizar los históricos desde y al momento que se desee.

Todo lo anterior, se realizó en el laboratorio, alimentando los dispositivos con las fuentes de los computadores disponibles allí.

Así que se tuvo el gran reto de buscar una fuente de potencia lo suficientemente necesaria para la alimentación del punto A, el cual va a estar remoto y a una distancia considerable del centro de datos. Para esto se probó con baterías convencionales de 9V, baterías de litio y la batería de un taladro. Esta última, fue la óptima para el sistema, dándole una alimentación continua y estable para la prueba en la pileta de la Universidad. Pero en este punto cabe resaltar, que, si se pretende que el sistema funcione durante todo el tiempo, es necesario una alimentación fija y con capacidad de generar corriente DC suficiente.

De igual manera, la app móvil se diseñó en un entorno de programación llamado Kodular, dónde se diseñaron 6 pantallas, una de inicio de la aplicación, donde se muestra el logo, el cual se diseñó desde cero, luego se observa una pantalla de inicio, donde se puede escoger entre dos botones, para registrarse o entrar, según el botón que se oprima pasa a la pantalla de registro, donde el usuario ingresa sus datos; la pantalla de entrar se habilita cuando ya se tiene un usuario registrado, ingresando con el correo y la contraseña que registró. Luego se accede al perfil donde se recupera la información ingresada en los campos Nombre, celular y correo y se puede observar el valor de cada variable en tiempo real y cada que se ingrese a la app. Por último, si se oprime alguno de los botones donde se observa el valor de la variable, se pasa a otra pantalla donde se encuentra un botón con el nombre de GEOVAM, si se oprime, se puede acceder los históricos que se encuentran disponibles en el dominio www.geovam.edu.co, que al final es el mismo sitio donde se conectó todo el sistema, ofreciéndole al usuario consultar los datos no sólo desde el computador disponible en el centro de datos, sino que también desde su dispositivo móvil.

Resultados y análisis

En Marzo del año 2022, se visitó la ciénaga de Ayapel, donde inicialmente se realizó un diagnóstico de las condiciones de las instalaciones de Corpoayapel, entidad que permite los estudios de este sitio Ramsar desde hace más de 20 años. Se pudo

observar que la red WiFi que tienen allí es óptima para la transmisión de los datos desde el punto remoto hasta el centro de datos, además se propuso que el sitio donde se puede ubicar el punto A (sensado y transmisión) es relativamente cerca a tierra firme y que desde allí se puede acceder fácilmente para realizar mantenimientos predictivos del sistema, pero se le pidió al director de la entidad que invierta en la infraestructura para poder energizar 24 horas y 7 días a la semana este punto. Se propuso llevar un cable blindado y aislado hasta este punto para poder garantizar el correcto funcionamiento del sistema. En la siguiente figura se puede ver con más claridad lo que se ha descrito. Hasta este punto, se tenían los datos en el punto B a una distancia de 15 metros aproximadamente, además se hizo un montaje experimental para comprobar que no existieran pérdidas de datos con las condiciones climáticas del entorno.

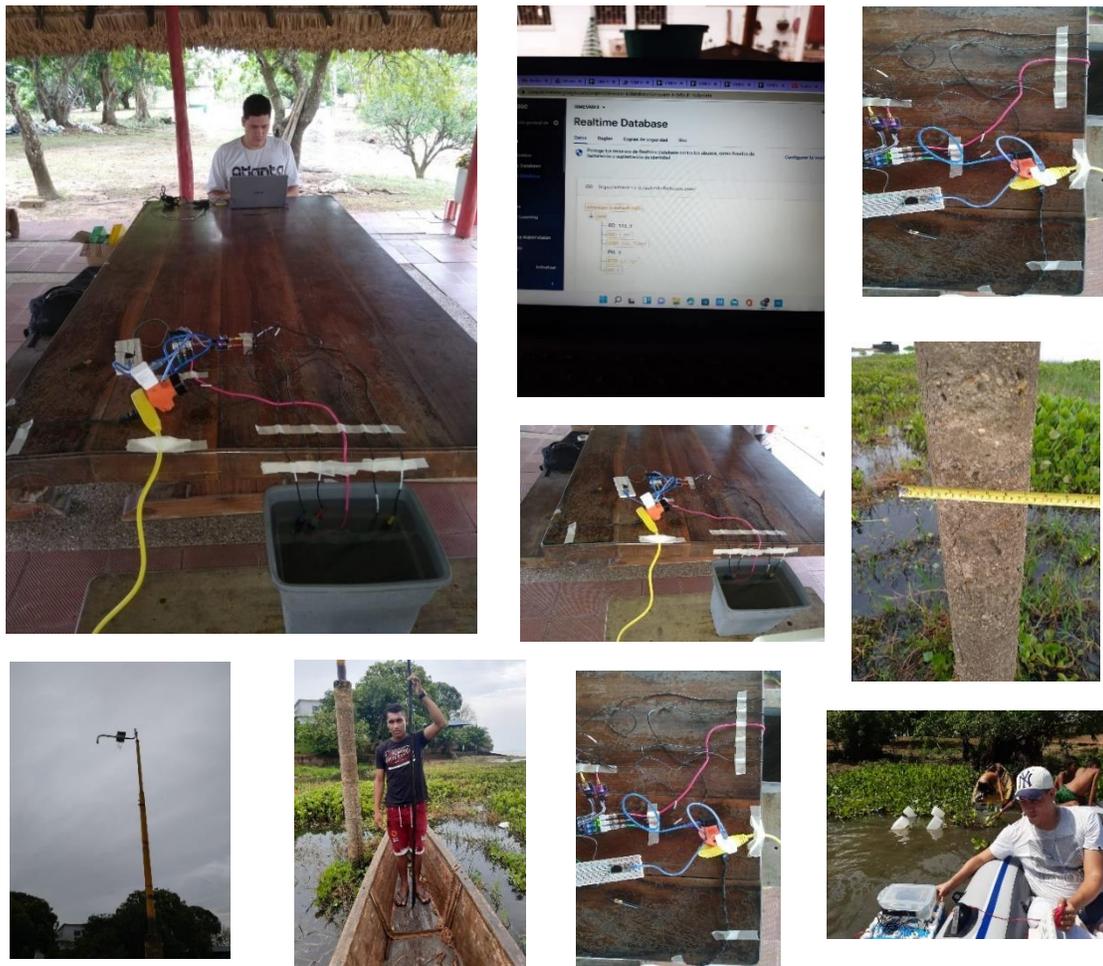


Figura 1. Evidencias fotográficas ciénaga de Ayapel.

Además, se midió el nivel que tenía la ciénaga en este momento, para hacerse una idea de cómo se debería de diseñar la estructura que alberga los componentes electrónicos que estarían allí ubicados y cuales materiales serían más resistentes cuando el nivel aumente. Como se puede observar en el poste que se muestra estaría fijo el sistema, posteriormente se van a realizar pruebas allí.

Para la obtención de los datos de las variables acuáticas se realizó un montaje compuesto de dos grupos, el primero es conformado por los sensores Atlas, conectados al Arduino Mega 250 y este se encuentra conectado por el puerto serial al Lora transmisor. Ambos están alimentados por la batería del taladro inalámbrico de la marca Black&Decker, el cual ofrece un voltaje de 12V y una corriente de 1.2Ah, cumpliendo con las exigencias del sistema con una durabilidad de funcionamiento de 25 minutos aproximadamente. Esto se hizo con el fin de dar demostraciones y pruebas iniciales. Y, por otro lado, en el centro de datos, se puede tener dos opciones, una es alimentar el Lora receptor y el NodeMCU con tres baterías recargables 18650 3.7V y 8800mAh o directamente al computador ubicado en el centro de datos. A continuación, en la figura 2, se puede observar con detalle las conexiones que se realizaron.

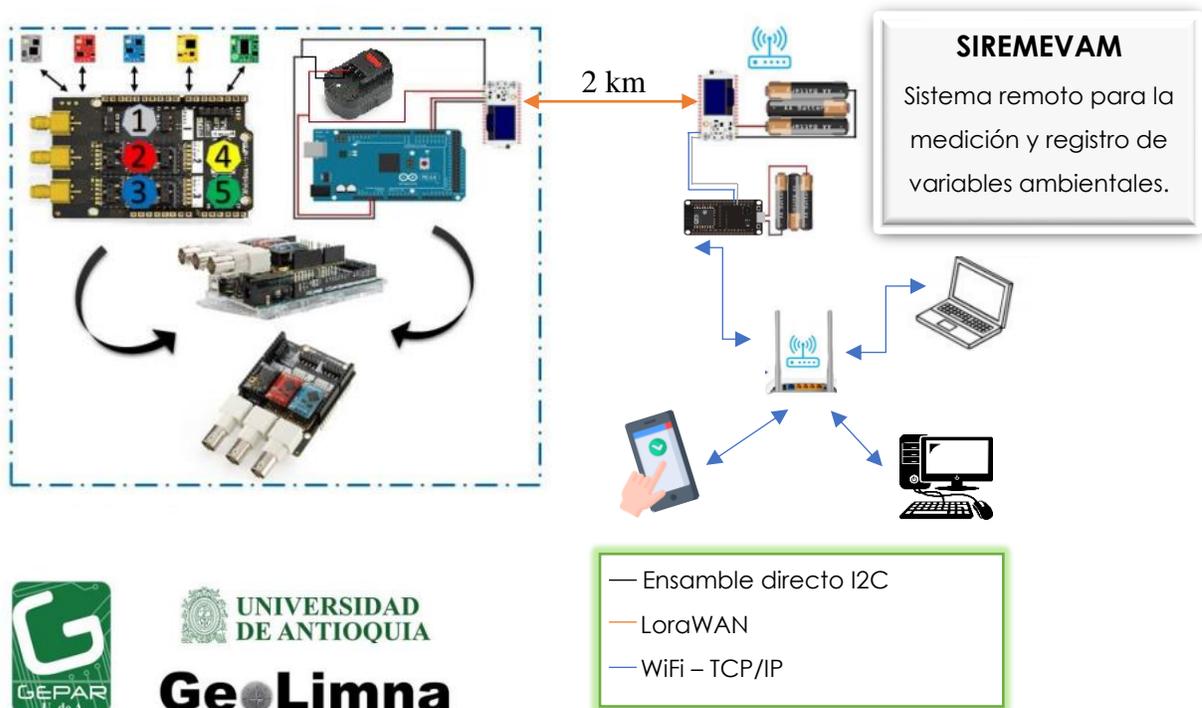


Figura 2. Diagrama de conexiones.

Teniendo esto claro, se realizaron pruebas en el laboratorio donde se verificó que efectivamente todo está funcionando. Luego, se calibraron los sensores para que las mediciones sean verídicas y como los datos ya se estaban publicando en Firebase, se procede a conectar esta información a GEOVAM. De igual manera, se adelantó la construcción de la estructura del punto remoto, que consta de dos cajas plásticas, flotadores, una caja plástica con tapa, tubos de PVC para las puntas de los sensores y diferentes amarres para el sostenimiento y evitar que la corriente del lugar donde se ubique lo arrastre. En las siguientes imágenes se puede observar el proceso.



Figura 3. Evidencias fotográficas en el laboratorio.

Por último, se desarrolló la app móvil llamada SIREMEVAM, en Kodular, que consta de un screen donde se muestra el logo, también diseñado por el autor, luego se muestra una pantalla donde el usuario se puede registrar o entrar si ya se encuentra registrado. Si ya se cuenta con un perfil registrado, puede acceder y ver las mediciones de cada variable en tiempo real y si se oprime cualquiera de los

botones donde se visualizan los valores de éstas, puede acceder a otra pantalla donde existe un botón llamado GEOVAM y desde su dispositivo móvil puede acceder a los históricos en el sitio geovam.udea.edu.co, directamente, sin necesidad de navegar por este. A continuación, se muestran screenshots de cada pantalla de app móvil.

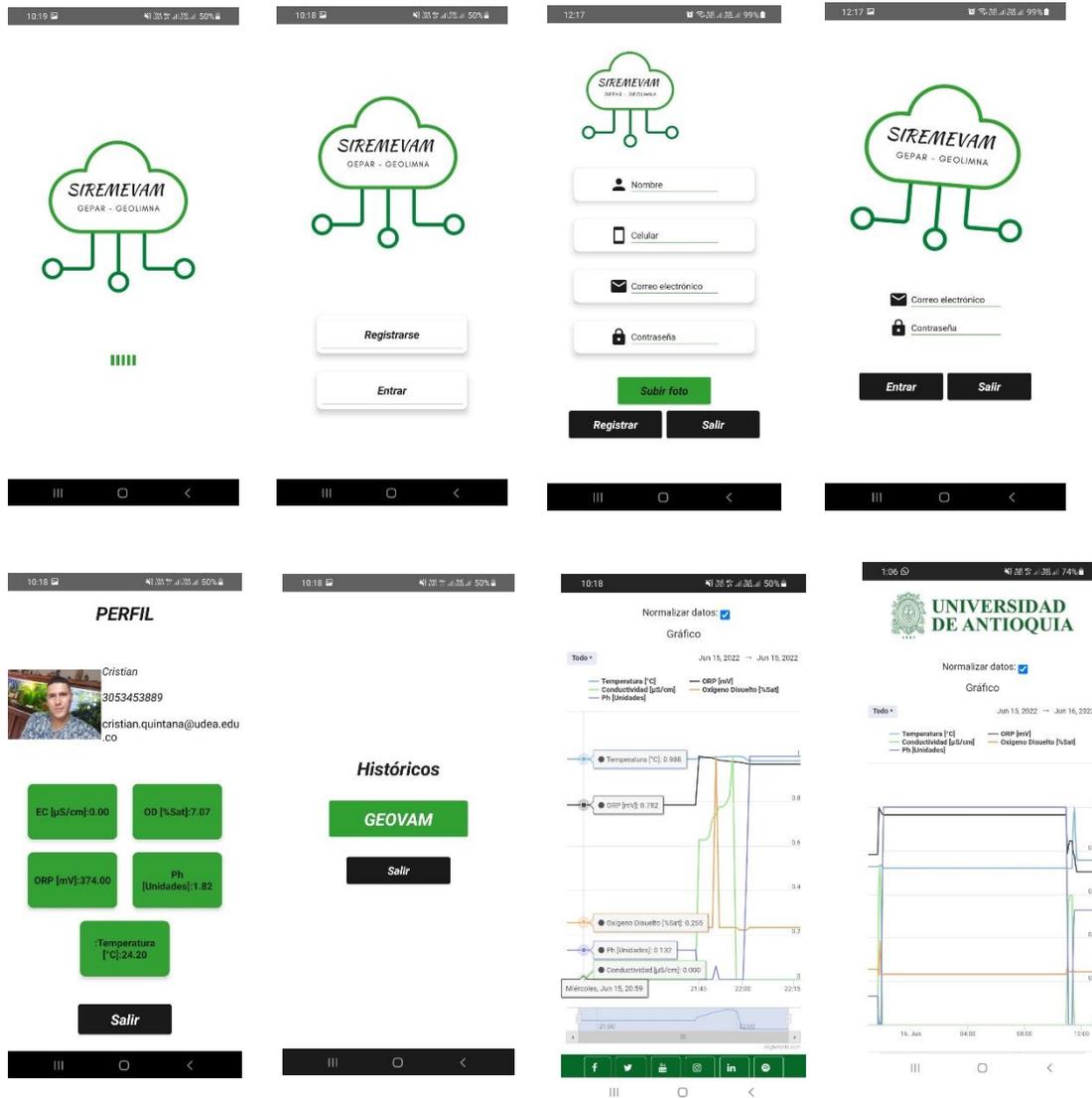


Figura 4. Screenshots App SIREMEVAM y gráficos GEOVAM.

Teniendo el proyecto funcional, se realizó una prueba en la pileta de la Universidad de Antioquia, donde por primera vez se realizó el montaje de los componentes del punto remoto y se energizó con la fuente autónoma, además se simuló el centro de datos con el computador portátil del autor y se usó la red de datos móviles del

celular de este. Comprobando no solo el funcionamiento desde el centro de cómputo sino desde la app móvil. La prueba fue exitosa, no solo desde el punto técnico y electrónico, sino que la flotabilidad de la estructura resultó óptima. Teniendo todo esto, se procederá a realizar demostraciones en Parque Norte y en la ciénaga de Ayapel en los próximos meses. Se muestran a continuación imágenes de la situación descrita.



Figura 5. Pruebas finales en la pileta de Universidad de Antioquia.

Con esto se finaliza el proyecto con respecto al diseño, implementación y pruebas obteniendo resultados exitosos en los objetivos propuestos, pero cable aclarar que se pueden incorporar nuevos sensores para aportar a la base de datos para poder dar cumplimiento al gran objetivo que es aportarle datos a los ingenieros ambientales y sanitarios para la construcción de modelos de predicción de desastres naturales como inundaciones y precipitaciones en sitios de interés como ciénagas, humedales, entre otros.

Líneas Futuras.

Es bien sabido que este proyecto forma parte de un macroproyecto llamado SIMEVAM. Con los resultados obtenidos se aportará a la continuidad, conexión y desarrollo de éste. Se espera la integración de nuevos elementos tales como nuevos sensores que midan otras variables de interés como la emisión de diferentes gases, siendo dióxido de carbono, monóxido de carbono, entre otros, buenas opciones para la base de datos que ya se tiene, de igual manera poder medir otras variables acuáticas como el nivel de la ciénaga, cuantificar la cantidad de peces y otros organismos, entre otras.

El compromiso por parte del autor es realizar el registro de software, los manuales de usuario para el uso de todos los elementos que se lograron en este proyecto y la instalación del sistema remoto para la medición y registro de variables ambientales en el ambiente cenagoso de Ayapel, con diferentes pruebas preliminares en el lago del Parque Norte.

Conclusiones

1. Se pudo evidenciar que al usar las tecnologías del internet de las cosas se aportó en gran medida a la resolución del problema, pues se creó una red integrada desde cero haciendo posible la comunicación de los dispositivos involucrados en la transmisión de los datos que toman los sensores Atlas hasta contar con un archivo .csv que puede servir para la construcción de los modelos de predicción y al mismo tiempo poder analizar el comportamiento de estos en los históricos en GEOVAM, pudiendo realizar análisis estadísticos y de inteligencia artificial.
2. La integración de SIMEVAM y SIREMEVAM fue exitosa, debido a que se estudió el proyecto antecesor, dónde se rescataron las comunicaciones inalámbricas entre los módulos LoraWAN y la adquisición de datos de los sensores Atlas, permitiendo avanzar en el enrutado actual y permitiendo una comunicación más confiable.
3. En todo momento es posible acceder a los datos debido a que se están almacenando en el repositorio de Google Sheets y en formato .csv, permitiendo la descarga de estos sin que se altere la ejecución del

programa, guardando un dato cada minuto y en una posición de memoria única.

4. Desde cualquier dispositivo y desde el lugar que se desee se puede acceder a los históricos en GEOVAM, solo se debe contar con un dispositivo inteligente y con acceso a internet.
5. La aplicación móvil que tiene por nombre SIREMEVAM se encuentra disponible para su descarga desde el sitio oficial de Kodular, se están realizando los registros de software y manuales que indiquen como usarla correctamente. Es funcional y útil en momentos donde no se cuente con un computador de escritorio o portátil.
6. Al tener una base de datos en tiempo real con los servicios de Firebase, es posible que los datos se publiquen durante todo el tiempo y sin peligro de pérdidas, además que esta aplicación web cuenta con los respaldos de seguridad de la información, actualizaciones automáticas e informes de posibles errores debido a que es un servicio de Google.
7. Cuando un dato que se publica en la base de datos no cambia, el valor de éste en la base de datos no se reescribe en la ruta que se tiene, ahorrando tiempo de compilación y recursos en el servidor.
8. En el proyecto SIMEVAM se extrajeron los datos desde la estación meteorológica Davi's con un enrutado que tienen como actores principales un datalogger, un router y una Raspberry PI 4B, que funciona como bróker y a la vez como transmisor. Como en SIREMEVAM ya se tiene el enrutado hasta GEOVAM, sería interesante usar lo aprendido para publicar los datos en una base de datos en tiempo real como Firebase, esto con el fin de tener todos los datos de los sensores ambientales y acuáticos en un mismo sitio estando articulados ambos proyectos.
9. Se espera que en los próximos meses se ponga en funcionamiento todo el sistema en la ciénaga de Ayapel, cumpliendo con el objetivo de empezar a tomar datos en este sitio de interés.

Referencias Bibliográficas

Alai Secure. (2022, Enero 23). *LoRaWAN: ¿Qué es, para qué sirve y cómo funciona?* [en línea]. <https://alaisecure.co/glosario/lorawan-que-es-para-que-sirve-y-como-funciona/>

Alternativas a...recomendaciones de software y aplicaciones. (2022, Enero 20). *Alternativas a Kodular* [en línea]. <https://alternativas-a.com>

³Arduino. (2022). *Arduino Mega 2560*. <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>

¹Atlas Scientific | Environmental Robotics. (2022). *ENV-SDS Kit*. <https://atlas-scientific.com/kits/env-sds-kit/>

²Atlas Scientific | Environmental Robotics. (2022). *Whitebox T2*. <https://atlas-scientific.com/electrical-isolation/whitebox-t2/>

Bedoya, M., Contreras, C. & Ruiz, F. (2010). *Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. En: IDEAM (2010). Estudio nacional del agua. (Cap. 7) [En línea].* <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP7.pdf>

Campos, A., Holm, N., Díaz, C., Rubiano, D., Costa, C., Ramírez, F. & Dickson, E. (2012). *Resumen ejecutivo. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Banco Mundial.* Bogotá. https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/Analisis_de_la_gestion_del_riesgo_de_desastres_en_Colombia_2012.pdf.

Carvajal, Y., Correa, G. A. & Muñoz, F. M. (2007). *Modelos de predicción de caudal utilizando variables macroclimáticas y técnicas estadísticas multivariadas en el valle del río Cauca [Versión electrónica]. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, (6), pp. 6-81.* <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231120826008.pdf>.

⁶Davi's. (2022). *Estación meteorológica Davi's*.
https://www.davisinstruments.com/products/vantage-vue-wireless-weather-station?_pos=1&_sid=a6f9985c2&_ss=r

Digital55. (2021, Mayo 17). *Firestore: qué es, para qué sirve, funcionalidades y ventajas*. [en línea]. <https://digital55.com/que-es-firebase-funcionalidades-ventajas-conclusiones/#:~:text=Firestore%20de%20Google%20es%20una,r%C3%A1pidamente%20trabajar%20en%20el%20desarrollo>

García, M. C., Piñeros, A., Bernal, F. A. & Ardila, E. (2012). *Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia [Versión electrónica]*. *Revista de Ingeniería*, (36), pp. 60-64.
<https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/136>.

⁴Heltec. (2022). *Heltec Lora 32 versión 2*. <https://heltec.org/product/wifi-lora-32-v2/>

López-García, J.D.; Carvajal-Escobar, Y Enciso-Arango, A.M. (2017). *Sistemas de alerta temprana con enfoque participativo: un desafío para la gestión del riesgo en Colombia*. *Revista Luna Azul*, 44, x-x. DOI: 10.17151/luaz.2017.44.14.
<http://200.21.104.25/luazul/index.php/component/content/article?id=230>.

⁵Mkelectrónica. (2022). *Placa NodeMCU 1.0*.
<https://mkelectronica.com/producto/modulo-controlador-nodemcu-1-0/>

Paessler. (2022, Enero 25) *¿Qué es MQTT?* [en línea].
<https://www.paessler.com/es/it-explained/mqtt>.

⁷Ríos, J. (2021). *GEOVAM*. Universidad de Antioquia. <https://geovam.udea.edu.co/>

Sedano, K., Carvajal, Y. & Díaz, A. (2013). *Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia [versión electrónica]*. *Luna Azul*, (37), pp. 219-238. <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n37/n37a14.pdf>

Stern, N. (2007). *El Informe Stern: La verdad sobre el cambio climático*. Barcelona, España: Editorial Paidós Ibérica.

Anexos

➤ Anexo 1.

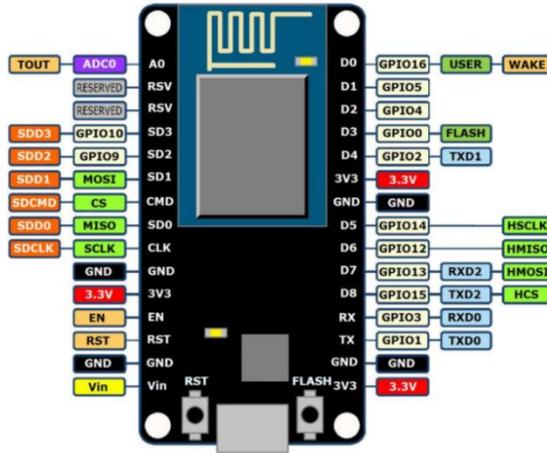


Figura 6. Diagrama PinOut NodeMCU 1.0.

➤ Anexo 2.

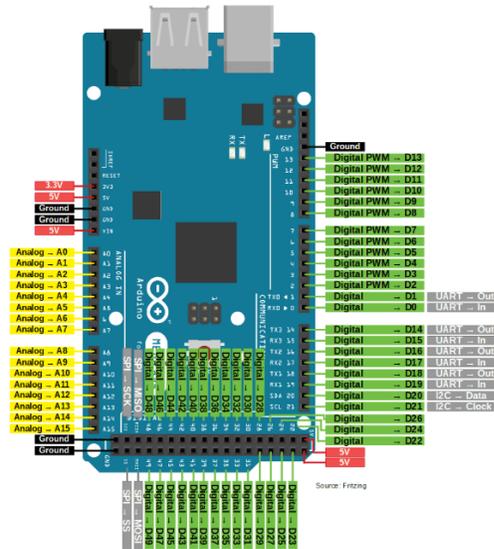


Figura 7. Diagrama PinOut Arduino Mega 250

➤ Anexo 3.

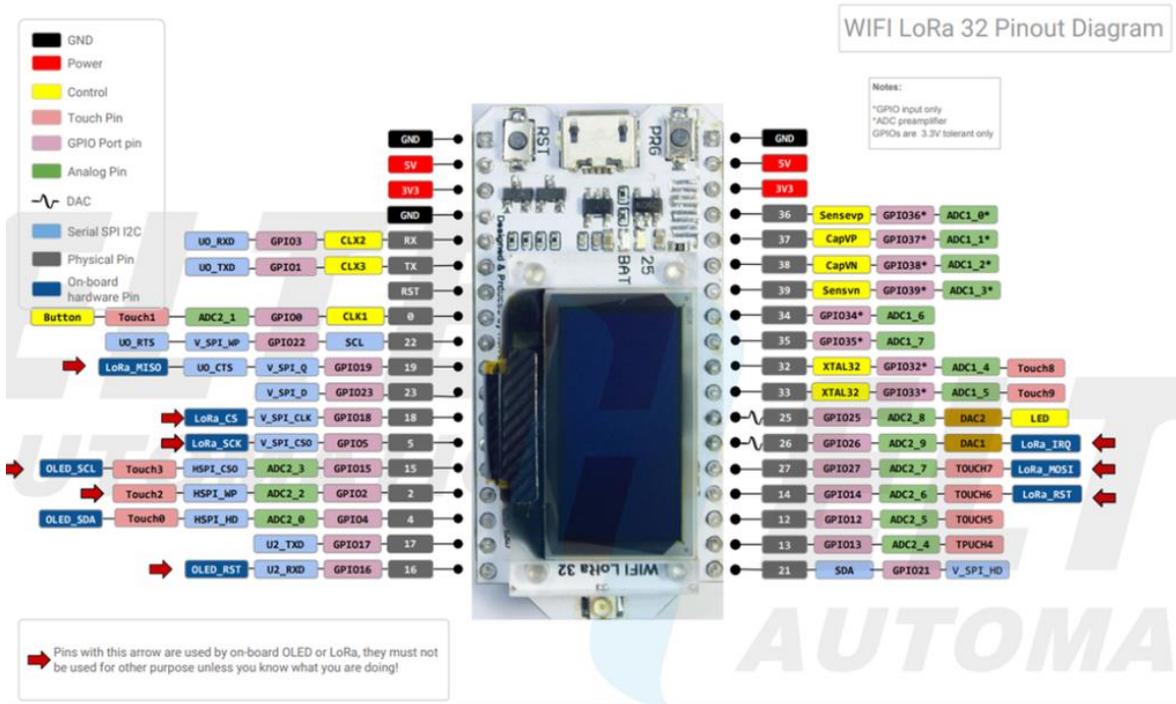


Figura 8. Diagrama PinOut Heltec Lora Wifi 32.

➤ Anexo 4.

Tabla 1. Especificaciones técnicas sensores Atlas Scientific.

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