

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN REMOTA
DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES APLICADO EN CULTIVOS DE CAFÉ

AUTOR:
CRISTIAN SANTIAGO RINCÓN CAICEDO

DIRECTOR:
EDGAR HERNANDO CRIOLLO VELÁSQUEZ

CO-DIRECTOR:
ANDRES FELIPE GUERRERO GUERRERO

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FUSAGASUGÁ, COLOMBIA
2022

1. Estado del Arte

En este apartado se brinda un panorama general con respecto a los avances realizados en la temática de monitoreo remoto y visualización de datos en diferentes tipos de cultivos, los siguientes proyectos se usarán como guía para dar cumplimiento a los objetivos planteados en la sección ??.

Domínguez Pasquel en 2020 diseñó e implementó una red de sensores para el monitoreo de cultivos de alfalfa y materia orgánica en la granja “La Pradera” de la Universidad Técnica del Norte en Ibarra, Ecuador. El sistema contó con varios nodos sensores ubicados estratégicamente en la parcela, los cuales remitían la información recolectada por medio de módulos LoRaWAN hacia un nodo central (Gateway o puerta de enlace) el cual tenía como función principal enviar la información procesada a una estación central. Dicha estación central fue montada con un sistema embebido Raspberry Pi 3 y un sistema operativo Ubuntu Mate, cuya función fue la de almacenar todos los datos recolectados y crear un servidor para la posterior comunicación con la plataforma Ubidots. Los servidores utilizados fueron Apache2, php (para que las páginas web del servidor puedan soportar contenido dinámico) y MySQL para la administración de la base de datos, adicionalmente se usó phpMyAdmin para facilitar la gestión de las bases de datos. Por último, la visualización de los datos se realizó de manera remota y en tiempo real con la ya mencionada plataforma Ubidots. La plataforma accedía a través del protocolo HTTP al servidor creado con Apache en la Raspberry Pi 3, obtenía los datos y los mostraba por pantalla mediante tarjetas y gráficas previamente configuradas como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Visualización de datos a través de la plataforma Ubidots [1].

Finalmente, se logró observar que el crecimiento de las plantas se vio afectado satisfactoriamente con la implementación del monitoreo, obteniendo plantas más verdes, con flores moradas y hojas ovaladas, a diferencia de las plantas sin monitoreo, las cuales se tornaron amarillentas, sin flores, con un crecimiento mínimo y un desarrollo ineficiente [1].

En 2020 Cárdenas y colaboradores implementaron un sistema de monitoreo sobre un ya existente sistema automatizado de riego en las casas de cultivo de la Unidad Empresarial de Base (UEB) de Cultivos Protegidos “Valle del Yabú” ubicadas en el municipio de Santa Clara, Cuba. Se diseñó una aplicación de Internet de las cosas (IoT) para garantizar la visualización local y/o remota de la información, el chequeo de valores históricos, el establecimiento de alarmas bajo determinadas condiciones, así como la administración de usuarios. Lo anterior se logró implementando una arquitectura de hardware constituida por nodos sensores (motes) compuestos por dispositivos Zolertia Z1, un enrutador de frontera que incorpora un Zolertia Z1 configurado como border router que comunica a una Raspberry Pi 3 Modelo B y un grupo de sensores encargados de medir temperatura, humedad relativa, humedad de suelo e intensidad de luz sola. La arquitectura simplificada se muestra en la Figura 2.

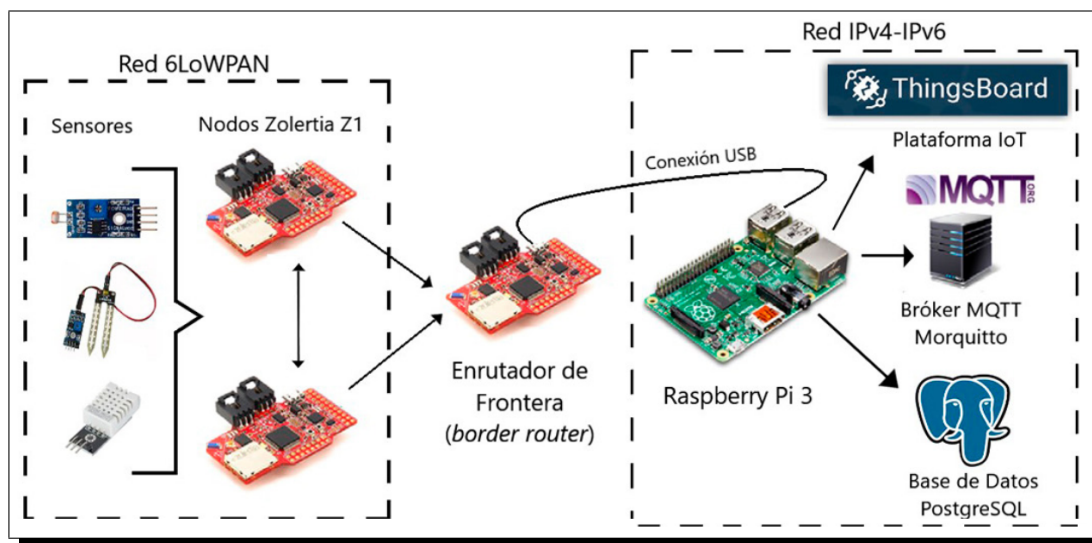


Figura 2. Arquitectura de la aplicación IoT diseñada [2].

El software utilizado fue el sistema operativo Contiki para los motes Zolertia Z1, esto debido a que soporta los estándares IPv4 e IPv6 y los estándares inalámbricos de baja potencia 6LoWPAN, RPL, CoAP, MQTT. Para la Raspberry Pi 3 Modelo B se instaló Raspbian y la plataforma de IoT ThingsBoard, que incluye la base de datos PostgreSQL para el almacenamiento de la información, y proporciona el Gateway IoT que cuenta con una extensión MQTT que permite el control, configuración y obtención de datos de los dispositivos por medio del bróker Mosquitto. Adicionalmente se añadió el gestor de bases de datos phpPgAdmin para facilitar el acceso a la información almacenada

y exportarla en una gran variedad de formatos para un futuro uso por otros software. Como resultado final se obtuvo un sistema automático de monitoreo y supervisión de parámetros básicos como humedad, temperatura, intensidad de la luz solar y humedad del suelo. El sistema permitió una correcta toma de decisiones para la mejora en la calidad de la producción y una visualización de los datos a través de una interfaz gráfica amigable y de fácil manejo para evaluar el desempeño de las variables con el paso del tiempo. También, se logró establecer modelos predictivos sobre el crecimiento de un cultivo o la productividad del mismo bajo determinadas condiciones. En la Figura 3 se muestra el resultado de la interfaz de la aplicación IoT [2].

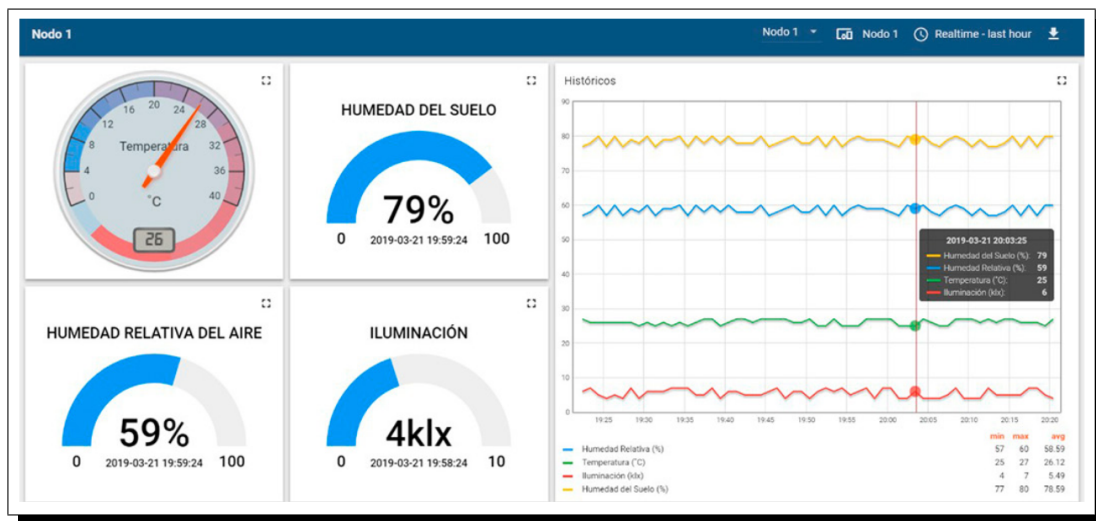


Figura 3. Panel de visualización de los datos de un nodo en la plataforma ThingsBoard [2].

Plazas Olaya en 2020 diseñó e implementó un prototipo de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo remoto de variables de un cultivo vertical a través de una plataforma IoT. El diseño se basó en un grupo de sensores distribuidos en dos nodos principales llamados “nodo ambiente” y “nodo agua” los cuales se encontraban conectados a un microcontrolador ESP32 y a un convertidor análogo digital (ADC) por medio de diferentes protocolos de comunicación. El microcontrolador contaba con un módulo LoRa E22-900T22 para la transmisión de datos hacia el Gateway Lora que se comunicaba con una Raspberry Pi. Para el diseño del software ejecutado en el Gateway se usó NODE-RED, su función fue convertir la información recibida en un objeto tipo JSON, y en función al tipo de datos recibidos, se transmitían las medidas a la plataforma IoT Sentilio o se publicaba dicha información por el protocolo MQTT. Además, si el Gateway recibía a través de la red Ethernet una petición de activación o desactivación de los relés o un cambio en el periodo de muestreo, el Gateway se encarga de enviar la información a los nodos sensores correspondientes. Por último, el despliegue de la plataforma Sentilio se realizó desde una máquina virtual (proporcionada por la página web oficial de Sentilio) instalada en un servidor Linux perteneciente al grupo de investigación SISTEMIC, ubicado en la sede central

de la Universidad de Antioquia, Colombia. Con dicho servidor desplegado fue posible publicar las medidas registradas por los sensores con el método POST del protocolo HTTP, para realizar dicha publicación el Gateway debía enviar una petición hacia la URL “<http://sistemic.udea.edu.co:4000/data/Cultivo1>” junto con la información de los sensores en el “body” del mensaje. Además, al usar el protocolo HTTP fue posible utilizar los diferentes métodos que este ofrece como PUT para actualizar datos, DELETE para eliminar datos o GET para obtener datos. En función a los datos enviados por el Gateway la plataforma Sentilio permitía mostrar la información por pantalla como se observa en la Figura 4 [3].

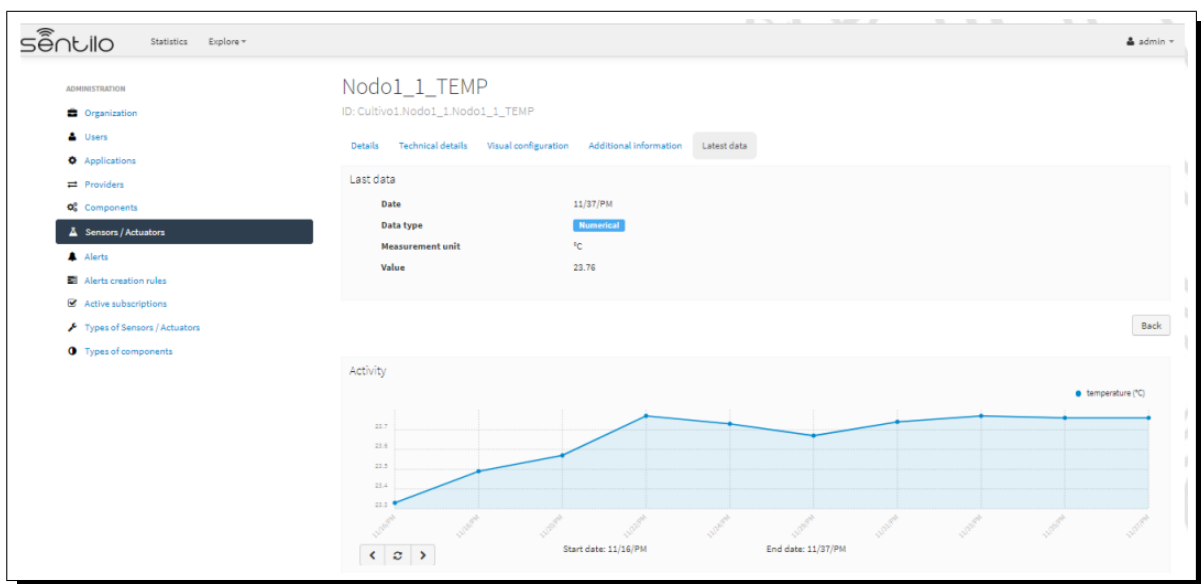


Figura 4. Plataforma Sentilio visualización del sensor de temperatura para el nodo ambiente [3].

Barrionuevo Apaza en 2020 desarrolló e implementó una red de sensores basados en el internet de las cosas aplicado en el cultivo de tomates cherry en las instalaciones de FAGSOL SAC ubicada en la ciudad de Arequipa, Perú. Para lograr este objetivo se propuso establecer una red de sensores y actuadores que interactúan de modo inalámbrico, donde se incluyeron sensores de humedad, luz, pH, módulos relé y bombas de agua. Se utilizó el NodeMCU, que permitió conectar el proyecto mediante el protocolo Wi-Fi. Con el dispositivo interactuando con internet, se obtuvo la magnitud de los factores ambientales captados por los sensores donde se incluían medidas de temperatura ambiental, humedad de ambiente, cantidad de luz y pH del sustrato preparado. Una vez los datos fueron recibidos y procesados por el NodeMCU, se procedió a enviarlos por medio de internet hacia la interfaz gráfica en la nube de THINGER.IO que fue capaz de mostrar la información de manera sencilla al usuario como se observa en la Figura 5 [4].

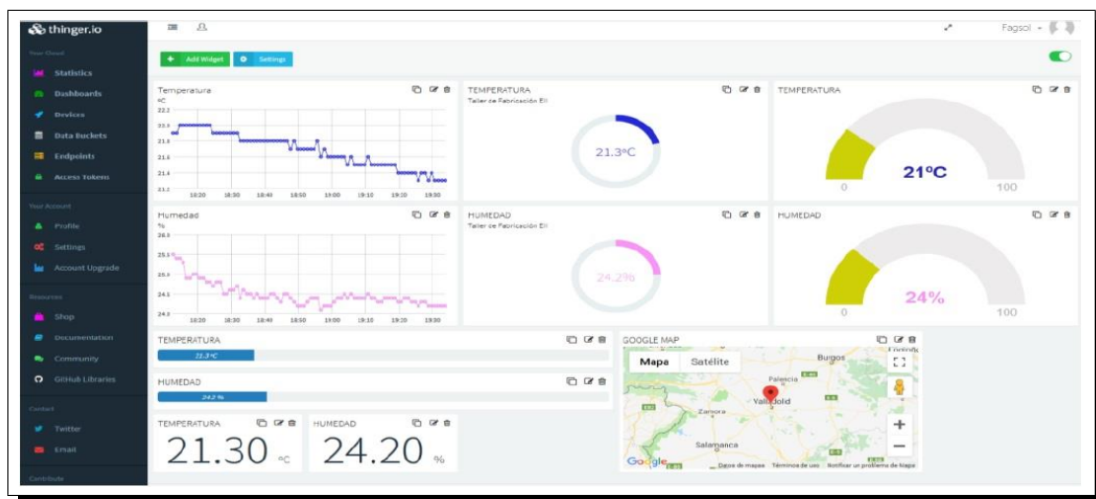


Figura 5. Resultados de los datos recolectados [4].

Arteaga y Wong en 2020 diseñaron e implementaron un framework para el monitoreo de temperatura en tiempo real completo, configurable, escalable y de bajo costo aplicando la tecnología IoT. La arquitectura de red propuesta fue la mostrada en la Figura 6, la cual cuenta con tres capas.

La “capa recolectora de datos” que incluye el uso de un sensor digital de temperatura que se encargaba de recolectar los datos del cultivo y enviarlos al microcontrolador nodeMCU, mediante el cual se recibe la data y se envía a la capa de nube a través de su módulo WIFI ESP8266 hacia el servicio IoT Platform de IBM Cloud.

La “capa Nube” incluye el uso del servicio de IoT Platform de IBM Cloud, el uso de Heroku Cloud para el alojamiento de la base de datos en MySQL y del RESTful Api, uso del servicio Firebase de Google Cloud para el alojamiento de la aplicación desarrollada con Angular. Esta capa recibe la data enviada por la capa anterior y mediante el uso de un aplicativo NodeRed alojado en IBM Cloud realiza el almacenamiento de los datos leídos en la base de datos en la nube a través del uso del RESTful Api.

La “capa de aplicación” incluye el uso de un navegador web por medio de un dispositivo móvil o un equipo de escritorio donde los usuarios, es decir, los acuicultores y el administrador pueden usar el aplicativo y acceder a módulos de la solución de acuerdo al perfil que tenga.

Como resultado se obtuvo un aplicativo totalmente responsive, lo cual permitió ser consultado desde diferentes dispositivos por el acuicultor y/o el administrador según lo requiriera. Y se demostró que utilizando el framework propuesto se logra una reducción significativa del tiempo empleado para monitorear y analizar el estado de los cultivos en comparación con la forma manual. Además, los resultados mostraron que con el uso del framework propuesto se agilizó el proceso de recolección y análisis del estado del cultivo basándose en el parámetro de temperatura, esto es debido a que gracias a la herramienta basada en IoT, se logró automatizar tanto la recolección de temperatura en tiempo real, así como el análisis del estado del cultivo [5].

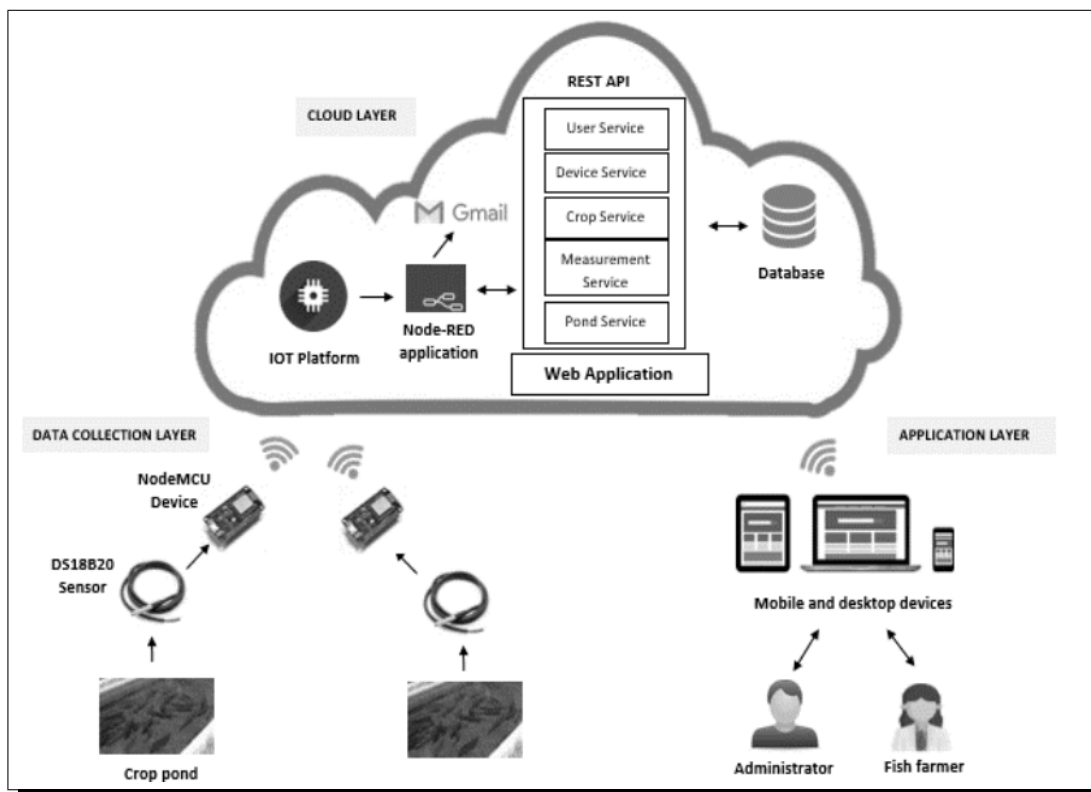


Figura 6. Framework propuesto [5].

Cadena y Pulido en 2021 implementaron en un pequeño cultivo un prototipo de una WSN basada en 6LoWPAN, un Border Router y una plataforma en la nube. Durante el desarrollo del proyecto realizaron simulaciones en Cooja, que es una herramienta de Contiki que fue diseñada específicamente para la emulación de WSN's. Para cada uno de los nodos contaron con una plataforma Zolertia RE-Mote, una tarjeta que nace del proyecto RERUM (REliable Resilient and secUre IoT for sMART city applications) la cual fue desarrollada por universidades e industrias europeas y soporta algunos sistemas operativos Open Source como Contiki OS y RIOT OS. Además, del uso de diferentes sensores cuya función es leer los datos provenientes del cultivo, con el fin de enviar los datos censados al usuario final. Los nodos sensores se comunican con el Border Router, el cual está conformado por un nodo sumidero (o nodo central) y un sistema embebido. El nodo sumidero, cumple la función de interfaz para el enrutador de borde, cuando los datos de la WSN viajan en uplink, captura los paquetes y los transmite vía serial al sistema embebido; mientras que en el sentido contrario captura los paquetes provenientes del sistema embebido y los reenvía por el medio inalámbrico hacia los nodos. Para finalmente conectar todo el sistema a través de internet con la plataforma Ubidots, la cual proporciona el "dashboard", una de las herramientas que ofrece Ubidots, allí es posible identificar gráficamente los datos que se están enviando a cada uno de los dispositivos. En la Figura 7 se presenta la interfaz gráfica de usuario para el sistema propuesto, donde se observa el comportamiento de las variables de temperatura, humedad del aire y humedad del suelo representadas en gráficas de

tiempo. Del mismo modo, existen widgets que representan el promedio de las mismas variables, los parámetros de configuración, un reloj en tiempo real y una imagen del cultivo.

Como resultado final en este proyecto se observó que la WSN diseñada fue capaz de monitorear las variables ambientales de un pequeño cultivo administrado desde una plataforma en la nube. Este sistema permitió conexiones a un solo salto (en campo abierto) de hasta 150 m con una pérdida de paquetes inferior al 10 % [6].

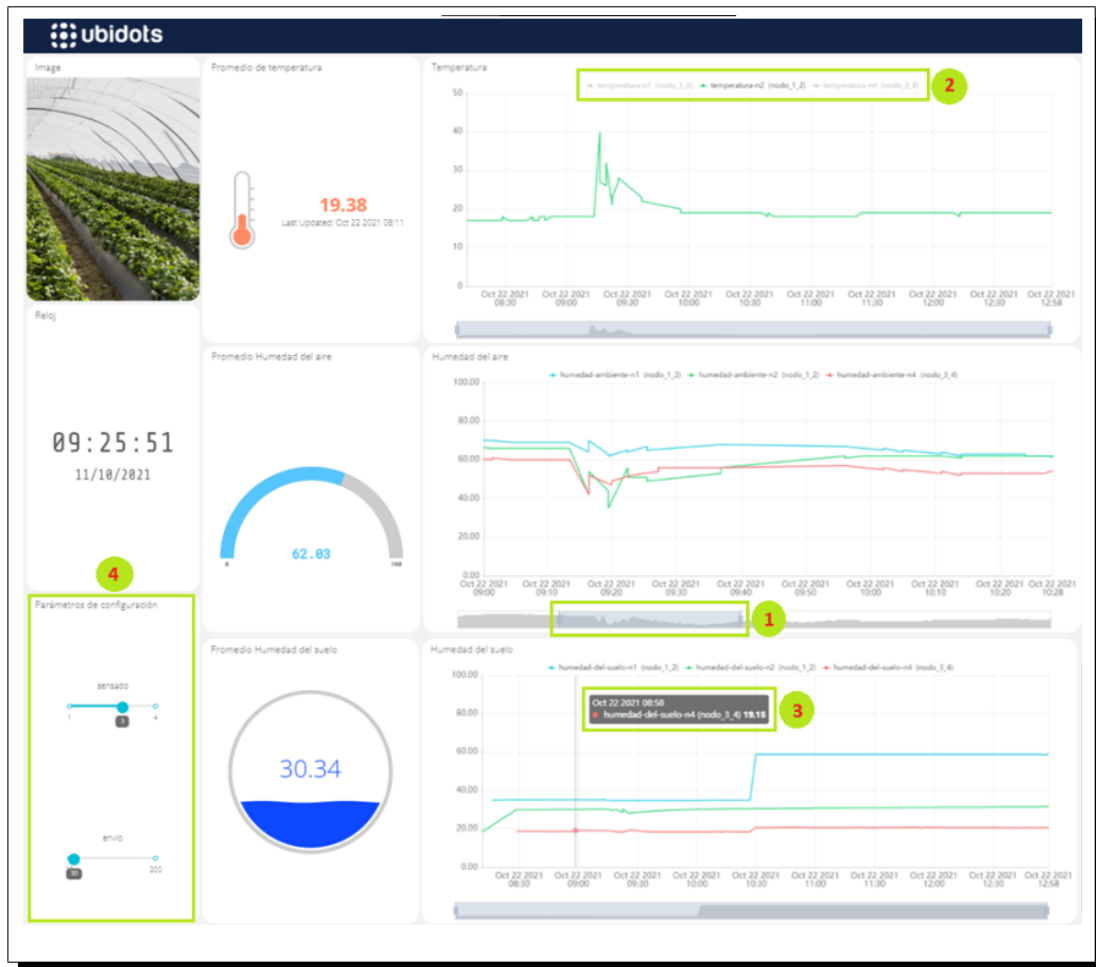


Figura 7. Dashboard del sistema de monitoreo ambiental [6].

En estos proyectos podemos observar principalmente las diferentes soluciones actuales en el mercado junto con sus limitantes para la comunicación y visualización de datos remotos y en tiempo real para las WSN's. Así mismo se obtiene un vistazo general del método que se puede llegar a emplear para la creación de un servidor por medio de una Raspberry Pi, por ejemplo, para realizar la comunicación con diferentes plataformas de IoT o incluso una diseñada desde cero utilizando como intermediaria las anteriormente nombradas. De esta manera se permite un mayor control de los datos mostrados al usuario, mayor control en las configuraciones de la WSN, entre otras ca-

racterísticas que se pueden lograr diseñando una interfaz ajustada a las necesidades de la mayoría de los usuarios finales.

Bibliografía

- [1] A. K. Domínguez Pasquel, “Diseño de una red de sensores inalámbricos lpwan para el monitoreo de cultivos y materia orgánica en la granja experimental la pradera de la universidad técnica del norte,” B.S. thesis, Universidad Técnica del Norte, 2020. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10297>
- [2] I. Santana Ching, A. J. Cárdenas Rivero, R. Sosa López, and J. A. Portal Díaz, “Monitoreo de parámetros ambientales en casas de cultivo a través de aplicación iot,” *Revista Cubana de Transformación Digital*, vol. 1, no. 1, pp. 53–62, abr. 2020. [Online]. Available: <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/46>
- [3] M. K. Plazas Olaya, “Adquisición de datos para el monitoreo remoto de variables de un cultivo vertical a través de una plataforma iot,” Master’s thesis, Universidad de Antioquia, 2020. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/10495/17203>
- [4] H. D. Barrionuevo Apaza, “Implementación de un sistema de monitoreo remoto y de control para la mayor eficiencia en un cultivo de tomates cherry por hidroponía en sustrato preparado, en el cono sur de arequipa,” Master’s thesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2020. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12292>
- [5] A. D. Arteaga Quico and L. R. Wong Portillo, “Framework for monitoring the temperature of aquaculture crops based on iot,” *DYNA*, vol. 88, no. 218, pp. 239–246, jul. 2021. [Online]. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/90626>
- [6] C. D. Cadena Chavarro, L. C. Pulido Feo *et al.*, “Wsn para el monitoreo continuo de variables ambientales,” 2021. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10554/62006>