

Arquitectura IoT basada en Node-RED y MQTT para el monitoreo ambiental en entornos agrícolas

IoT-Based Architecture Using Node-RED and MQTT for Environmental Monitoring in Agricultural Settings

CESAR AUGUSTO ROMERO MOLANO¹  | ANDRÉS FELIPE ORDUZ PÉREZ^{2*} **Afiliación:**^{1,2}Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia**Información del artículo:**

Recibido: 23/10/2025

Aceptado: 11/11/2025

Publicado: 21/11/2025

Autor de correspondencia: E-mail: *andres.orduz@unillanos.edu.co

Resumen

El Internet de las Cosas (IoT) permite la interconexión de sensores y actuadores para ofrecer soluciones escalables, efectivas y de bajo costo capaces de recopilar, transmitir y procesar información en tiempo real. En el ámbito agrícola, la falta de sistemas integrados para el monitoreo ambiental limita la gestión eficiente de los recursos y la respuesta oportuna ante variaciones climáticas. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo diseñar e implementar una arquitectura IoT para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad en el ambiente, utilizando DigitalOcean como servidor en la nube, Node-RED como entorno de integración y el protocolo MQTT para la transmisión de datos. Se empleó una ESP32 conectada a un sensor DHT11, gestionada por el bróker Mosquitto, con almacenamiento en MySQL y visualización mediante un dashboard desarrollado en Node-RED. Los resultados demostraron una comunicación estable, con un tiempo promedio de transmisión de 2 segundos y sin pérdidas de datos. La arquitectura propuesta evidenció ser una solución eficiente, reproducible y de bajo costo, adecuada para entornos académicos y agrícolas que requieran supervisión ambiental continua y eficiente.

Palabras clave: agricultura inteligente; ESP32; IoT; monitoreo ambiental; node-RED.

Abstract

The Internet of Things (IoT) enables the interconnection of sensors and actuators to provide scalable, effective, and low-cost solutions capable of collecting, transmitting, and processing real-time information. In the agricultural sector, the lack of integrated systems for environmental monitoring limits the efficient management of resources and timely responses to climatic variations. In this context, the objective of this work was to design and implement an IoT architecture for real-time monitoring of ambient temperature and humidity, using DigitalOcean as the cloud server, Node-RED as the integration environment, and the MQTT protocol for data transmission. An ESP32 microcontroller connected to a DHT11 sensor was employed, managed by the Mosquitto broker, with data storage in MySQL and visualization through a dashboard developed in Node-RED. The results demonstrated stable communication, with an average transmission time of two seconds and no data loss during testing. The proposed architecture proved to be an efficient, reproducible, and low-cost solution, suitable for academic and agricultural environments requiring continuous and reliable environmental supervision.

Keywords: smart agriculture; ESP32; IoT; environmental monitoring; node-RED.

1. Introducción

El monitoreo ambiental es una herramienta esencial para garantizar la sostenibilidad y la productividad de los ecosistemas naturales y agropecuarios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Variables como la temperatura y la humedad inciden directamente en el desarrollo vegetal, la salud animal y la estabilidad de los sistemas agrícolas; por tanto, su control resulta decisivo para una gestión eficiente de los recursos y una producción sostenible (Sánchez-Cuevas et al., 2023). No obstante, en gran parte del sector agrícola colombiano y latinoamericano, la medición de estos parámetros aún se realiza de forma manual o mediante equipos aislados, lo que limita la continuidad en la recolección de datos y retrasa la toma de decisiones ante variaciones ambientales (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2009).

En este escenario, el Internet de las Cosas (IoT) se consolida como una de las tecnologías más prometedoras para la automatización del monitoreo y la gestión ambiental. Su capacidad para interconectar sensores, microcontroladores y plataformas en la nube permite recopilar, procesar y visualizar información en tiempo real, optimizando los procesos productivos y reduciendo el impacto ambiental (Cano et al., 2024). Diversos estudios han evidenciado el potencial del IoT en aplicaciones agrícolas, desde el control de microclimas en invernaderos hasta el seguimiento de la calidad del aire, del agua y del suelo (Fuentes, 2023; Garre, 2019; Sánchez-Castillo, 2024). Entre las herramientas más empleadas para la implementación de soluciones IoT destaca Node-RED, una plataforma de programación visual de código abierto que facilita la integración entre hardware, protocolos de comunicación y servicios en la nube. Su uso junto al protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) permite establecer sistemas de monitoreo livianos, escalables y de bajo costo, capaces de operar en entornos con conectividad limitada (Chen et al., 2020; Kairuz-Cabrera et al., 2024; San Francisco, 2022). Su enfoque basado en nodos simplifica el desarrollo de arquitecturas complejas de recolección, procesamiento y visualización de datos, lo que

permite crear sistemas robustos y personalizables (Khalil et al., 2022; Moreno-Arrieta et al., 2025).

A pesar de estos avances, persiste una brecha tecnológica en la adopción de infraestructuras IoT accesibles y replicables en contextos educativos y rurales agrícolas (Trendov et al., 2019). En estudios previos se ha demostrado el potencial del IoT en contextos controlados mediante simulaciones (Orduz Pérez, 2025); sin embargo, aún son limitadas las implementaciones reales en campo, lo que motiva el desarrollo del presente trabajo. En este sentido, la Granja de la Universidad de los Llanos (Unillanos) constituye un entorno idóneo para la validación de este tipo de sistemas, dado su enfoque en investigación aplicada y producción agropecuaria. Las condiciones climáticas de los Llanos Orientales, caracterizadas por temperaturas elevadas y alta humedad relativa, representan un desafío técnico que exige soluciones robustas y sostenibles (Herrera-Rubio y Ortiz, 2022; Jongbo, 2023).

En respuesta a esta necesidad, el presente trabajo propone una arquitectura IoT basada en Node-RED y MQTT para el monitoreo en tiempo real de variables ambientales, utilizando DigitalOcean como plataforma en la nube. La novedad del estudio radica en la integración práctica y validada de una infraestructura IoT completa adquisición, comunicación, almacenamiento y visualización en un entorno académico y agrícola real, demostrando su viabilidad técnica, escalabilidad y bajo costo de implementación.

2. Metodología

2.1. Arquitectura del sistema

El sistema de monitoreo ambiental fue diseñado bajo una arquitectura IoT basada en el protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) y soportada en la plataforma de orquestación Node-RED, desplegada en un servidor virtual DigitalOcean. El propósito principal fue recopilar, transmitir y visualizar en tiempo real variables ambientales, particularmente temperatura y humedad relativa, medidas mediante un sensor DHT11 conectado a una placa ESP32 instalada en la Granja de la Universidad de los Llanos, ubicada



en Villavicencio, Meta. La arquitectura propuesta está estructurada en tres capas que permiten un flujo eficiente de información desde la adquisición hasta la visualización de los datos. La primera corresponde a la capa de percepción, conformada por los sensores conectados al microcontrolador ESP32. La segunda capa es la de red, donde se establece la comunicación mediante el protocolo MQTT utilizando Mosquitto como broker de mensajes. Finalmente, la capa de aplicación se encarga del procesamiento, visualización y almacenamiento de la información en Node-RED y en una base de datos MySQL. La Figura 1, presenta el esquema general de la arquitectura propuesta, en la que se detalla la interacción entre los componentes de hardware, red y aplicación.

2.2. Hardware implementado

Para la adquisición de datos se utilizó una placa ESP32, un microcontrolador de 32 bits con conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada, ampliamente empleado en aplicaciones IoT por su versatilidad y bajo consumo energético. El sensor DHT11 fue seleccionado para la medición de temperatura y humedad ambiental debido a su bajo costo, facilidad de calibración y compatibilidad directa con la ESP32. En la Tabla 1, se muestran los principales componentes empleados en el desarrollo del sistema junto con su respectiva descripción y función.

Figura 1
Diagrama de bloque del sistema

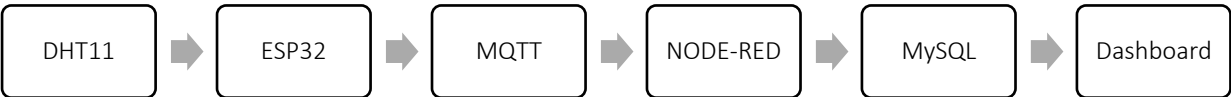
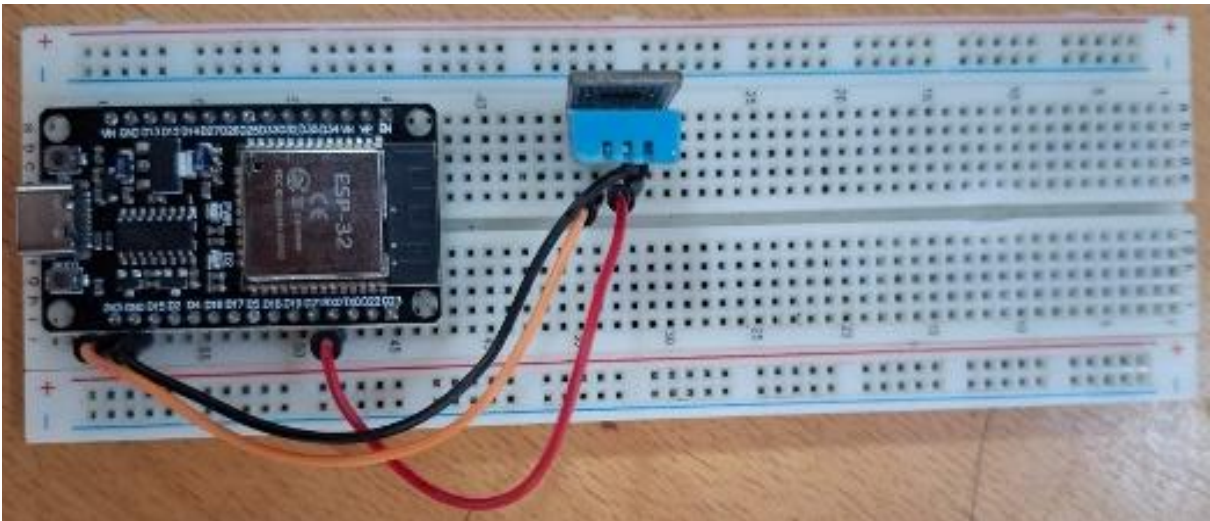


Tabla 1
Componentes principales

Componente	Descripción	Función
ESP32	Microcontrolador de 32 bits con Wi-Fi	Envío de datos mediante MQTT
DHT11	Sensor de temperatura y humedad	Captura de datos
Servidor DigitalOcean	Nube privada	Alojamiento de Node-RED, Mosquitto y MySQL

Figura 2
Montaje de la ESP32 y el sensor



El montaje inicial se llevó a cabo en una protoboard dentro del laboratorio de electrónica de la Universidad de los Llanos, lo que permitió validar la comunicación entre el sensor, el microcontrolador y el servidor utilizando el protocolo MQTT. El sistema fue alimentado a través del puerto USB-C de la ESP32, asegurando un suministro estable de 5 V durante las pruebas. Durante esta etapa, se verificó la correcta lectura de los datos por parte del sensor, la publicación de los mensajes hacia el broker Mosquitto y su recepción en la plataforma Node-RED. La Figura 2 muestra el montaje físico del sensor y la placa ESP32 durante las pruebas de validación en laboratorio.

Aunque las pruebas iniciales se desarrollaron en condiciones controladas, se consideró la Granja de la Universidad de los Llanos como entorno de despliegue, con el objetivo de evaluar el comportamiento del sistema en un contexto real de campo. En esta fase se definieron los puntos de instalación del nodo, la cobertura de red necesaria y la ubicación óptima del sensor. La Figura 3 presenta la ubicación referencial propuesta para el nodo IoT en la granja.

2.3. Configuración del servidor

Para la gestión y transmisión de datos se implementó un servidor virtual en DigitalOcean, empleando una instancia con sistema operativo

Ubuntu 24.04. En este entorno se instalaron los servicios Mosquitto MQTT Broker y Node-RED, los cuales permitieron establecer la comunicación entre el nodo IoT (ESP32) y el panel de visualización. La Figura 4 muestra el proceso de creación del servidor en la plataforma DigitalOcean, donde se alojaron los servicios principales.

El protocolo MQTT fue seleccionado por su eficiencia en la transmisión de datos en redes con bajo ancho de banda y su arquitectura ligera, ideal para aplicaciones IoT (Chen et al., 2020). El broker Mosquitto actuó como intermediario entre los dispositivos, recibiendo los mensajes enviados por la ESP32 y reenviándolos a Node-RED para su procesamiento.

La ESP32 fue configurada como cliente publicador, encargada de enviar los datos del sensor a los tópicos *giot/unillanos/temperatura* y *giot/unillanos/humedad*, mientras que Node-RED se estableció como cliente suscriptor encargado de recibir y procesar dichos mensajes. El flujo de información, descrito en la Figura 5, muestra la secuencia de envío, recepción y tratamiento de los datos entre los componentes del sistema.

Asimismo, se habilitó la autenticación de usuarios en el broker MQTT y el uso de un puerto seguro, con el fin de garantizar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos transmitidos.

Figura 3

Ubicación referencial del nodo IoT en la granja de la Universidad de los Llanos





Figura 4

Creación del servidor en DigitalOcean

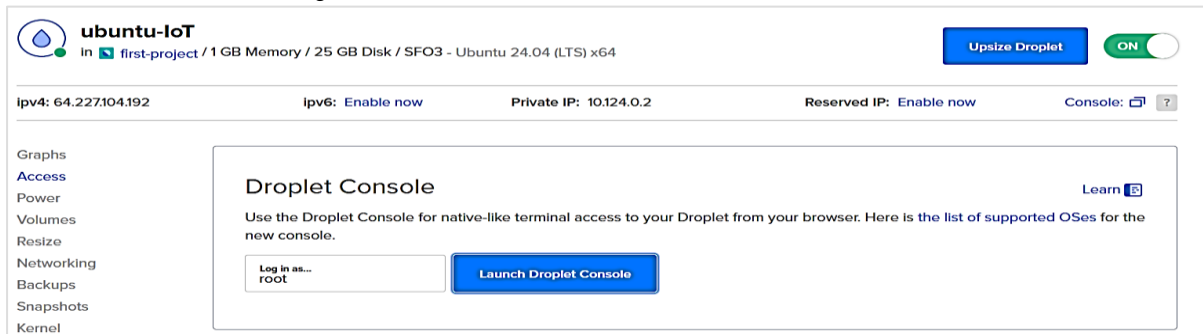


Figura 5

Flujograma de la información

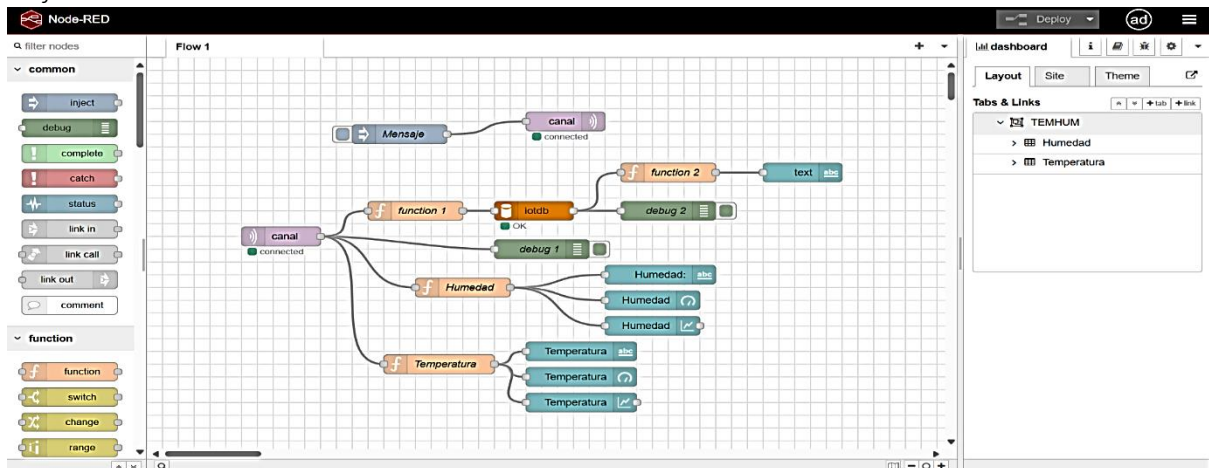
El sensor DHT11 envía las lecturas a la ESP32

La ESP32 publica los valores mediante MQTT al broker Mosquitto alojado en DigitalOcean.

Node-RED, suscrito a los mismos tópicos, recibe los datos y los procesa para su visualización y análisis.

Figura 6

Flujos desarrollados en Node-RED



2.4. Desarrollo de flujos en Node-RED

El procesamiento y la visualización de los datos se efectuaron mediante Node-RED, ejecutado en la misma instancia de DigitalOcean donde operaba el broker Mosquitto, lo que permitió mantener una arquitectura centralizada y eficiente. El flujo diseñado en Node-RED se configuró para recibir, filtrar, procesar y visualizar los datos de temperatura y humedad en tiempo real provenientes de la ESP32.

El flujo de trabajo incluyó nodos de suscripción para recibir los datos, funciones para el tratamiento de información y conversión de formatos, nodos de interfaz gráfica (Gauge, Chart y Text) para la visualización en tiempo real, un nodo Debug para la validación de comunicación y un nodo de base de datos (iotdb) para el almacenamiento en MySQL. La Figura 6 muestra los flujos desarrollados en Node-RED, evidenciando la secuencia de recepción, procesamiento y visualización de los datos ambientales.

El panel de control (Dashboard) resultante permite visualizar los valores de temperatura y humedad mediante indicadores circulares tipo gauge, gráficos de línea chart que reflejan la evolución temporal de las variables y campos text que muestran los valores numéricos en tiempo real. La interfaz es accesible desde cualquier navegador mediante la dirección IP pública del servidor, lo que facilita el monitoreo remoto del sistema.

2.5. Visualización y análisis de datos

La visualización de los datos recolectados se realizó mediante el Dashboard de Node-RED, configurado para mostrar en tiempo real las lecturas de temperatura y humedad relativa obtenidas por el sensor DHT11. Cada registro fue enviado desde la ESP32 al broker Mosquitto, procesado por Node-RED y posteriormente representado gráficamente en la interfaz. La Figura 7 presenta el panel principal del Dashboard, donde se observan los indicadores circulares, gráficos de tendencia y campos numéricos configurados para la visualización continua. En el panel principal se incorporaron tres secciones de visualización: indicadores circulares tipo gauge para mostrar los valores instantáneos, gráficas tipo chart para representar

la tendencia temporal de las variables, e indicadores tipo text para presentar los valores numéricos en tiempo real.

Para el análisis complementario, los datos fueron exportados desde Node-RED hacia una base de datos MySQL, permitiendo el almacenamiento estructurado y su posterior tratamiento estadístico. La Tabla 2 describe la estructura de la base de datos utilizada, con sus respectivos campos, tipos de dato y configuración.

Figura 7
Dashboard en Node-RED

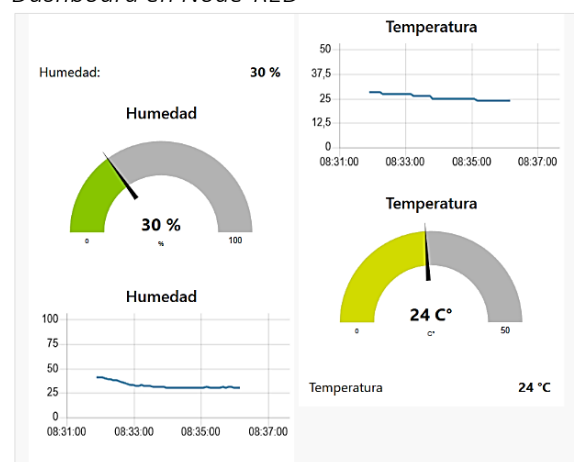


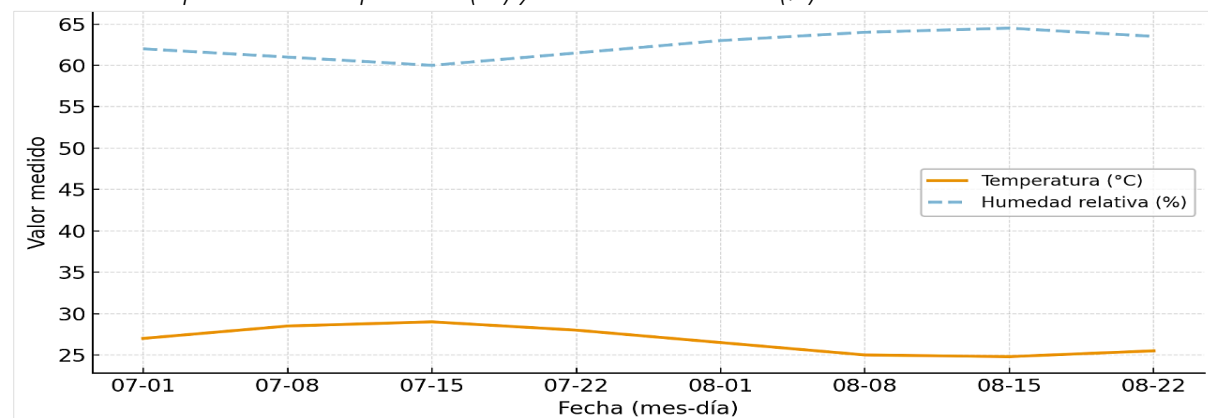
Tabla 2

Componentes principales

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
ID	Int	No	PRI	Null	Auto_increment
Temperatura	Float	Yes	-	Null	-
Humedad	Float	Yes	-	Null	-
Fecha	timestamp	Yes	-	Current_timestamp	Default_generated

Figura 8

Tendencia temporal de la temperatura (°C) y la humedad relativa (%)





3. Resultados

El sistema IoT desarrollado cumplió satisfactoriamente el ciclo completo de adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización de las variables ambientales. Las mediciones de temperatura y humedad relativa capturadas por el sensor DHT11 fueron enviadas por la ESP32 al bróker Mosquitto mediante el protocolo MQTT, procesadas en Node-RED y finalmente almacenadas en una base de datos MySQL alojada en el servidor DigitalOcean. La base de datos fue estructurada con una tabla denominada lecturas, que incluyó los campos id, temperatura, humedad y fecha, permitiendo la ejecución de consultas SQL para obtener promedios horarios, valores máximos y mínimos registrados durante el periodo de pruebas.

A partir de los registros históricos se exportaron los datos en formato CSV y se procesaron en Python para generar gráficas comparativas del comportamiento térmico y de humedad. La Figura 8 muestra la variación de ambas variables durante un intervalo de ocho semanas. La línea sólida naranja muestra la variación de la temperatura promedio, con valores comprendidos entre 25 °C y 29 °C, evidenciando ligeras oscilaciones semanales que corresponden a fluctuaciones térmicas naturales del entorno tropical. Por otro lado, la línea azul discontinua refleja la humedad relativa promedio, con un rango aproximado entre 60 % y 65 %, mostrando una tendencia opuesta a la temperatura: a medida que la temperatura aumenta, la humedad tiende a disminuir, lo que confirma una correlación inversa moderada entre ambas variables. El comportamiento observado es consistente con la dinámica climática típica de los Llanos Orientales, caracterizada por una alta radiación solar y niveles de humedad variables según los ciclos de precipitación y evaporación. Esta correlación permite validar el funcionamiento del sistema IoT, al evidenciar lecturas coherentes con las condiciones ambientales reales.

Durante las pruebas, el sistema mantuvo una comunicación estable y continua, sin pérdidas de conexión ni retrasos significativos en la transmisión de datos. El tiempo promedio de entrega entre la lectura del sensor y su

almacenamiento en la base de datos fue de aproximadamente 2 s. Estos resultados confirman que la integración entre Node-RED y MySQL permite combinar la supervisión en tiempo real con el análisis histórico de datos, lo que consolida el sistema como una herramienta efectiva para el monitoreo ambiental en escenarios académicos y rurales.

4. Discusión

Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad técnica del uso de arquitecturas IoT basadas en Node-RED y MQTT para el monitoreo ambiental. La comunicación estable y la baja latencia evidencian que la configuración implementada es adecuada para aplicaciones que requieren transmisión de datos en tiempo real, incluso en redes con recursos limitados, lo cual coincide con lo reportado por Chen et al. (2020) sobre la eficiencia del protocolo MQTT.

La correlación observada entre el aumento de temperatura y la disminución de humedad relativa valida el comportamiento esperado de las variables ambientales, como las presentes en la región de los Llanos Orientales. Este patrón coincide con los resultados de Herrera-Rubio y Ortiz (2022) y Jongbo (2023), quienes destacaron la influencia directa de la temperatura ambiental sobre los niveles de humedad en sistemas agropecuarios.

El rendimiento estable del sistema confirma que el enfoque de integración centralizada en la nube mediante DigitalOcean es eficiente para aplicaciones de monitoreo distribuidas. Además, la utilización de Node-RED permitió un desarrollo modular y visualmente intuitivo, reduciendo la complejidad del diseño y facilitando la replicabilidad del sistema, como señalan Kairuz-Cabrera et al. (2024) y Khalil et al. (2022) en estudios similares.

Finalmente, se reconoce la posibilidad de escalar la arquitectura mediante la incorporación de nuevos sensores (luminosidad, presión o humedad del suelo) y la implementación de mecanismos de alerta automática basados en umbrales críticos de las variables. Estas mejoras futuras fortalecerían la adaptabilidad del sistema ante diversas condiciones climáticas y

potenciarían su uso en proyectos de investigación aplicada y agricultura inteligente.

5. Conclusiones

El sistema IoT desarrollado demostró la viabilidad técnica y operativa de integrar tecnologías abiertas y de bajo costo, como ESP32, DHT11, MQTT, Node-RED y DigitalOcean, para el monitoreo ambiental en tiempo real.

Los resultados evidenciaron una comunicación estable y eficiente, con un tiempo promedio de transmisión de 2 segundos y sin pérdidas de datos, validando la efectividad del flujo de información entre los dispositivos y el servidor.

La arquitectura propuesta constituye una alternativa confiable, económica y escalable para aplicaciones académicas y agrícolas, favoreciendo la apropiación tecnológica y la sostenibilidad en contextos rurales.

Contribución de los autores

C. A. Romero: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, recursos, software, supervisión, visualización, validación, redacción del borrador original y redacción, revisión y edición del manuscrito. **A. F. Orduz:** Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, validación, redacción del borrador original y redacción, revisión y edición del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés relacionado con esta publicación.

6. Referencias bibliográficas

Cano, A. M. C., Castillo, V. S., Gamboa, A. J. P., Castillo-Gonzalez, W., Vitón-Castillo, A. A., y Gonzalez-Argote, J. (2024). Internet of Things and Health: A literature review based on Mixed Method. *EAI endorsed transactions on internet of things*, 10. <https://doi.org/10.4108/eetiot.4909>

Chen, F., Huo, Y., Zhu, J., y Fan, D. (2020, 6 al 8 de noviembre). A review on the study on MQTT security challenge [conferencia]. *2020 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud)*, Washington DC, Estados Unidos. <https://doi.org/10.1109/SmartCloud49737.2020.00032>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/7eb7c401-8e8f-47a1-8efa-6464247dd2e5>

Fuentes, N. A. (2023). *Sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales del cultivo de quinua, Puno 2023* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/118538>

Garre, J. A. (2019). *Sistema de control en tiempo real para sensores inteligentes usando microcontroladores PIC: Una aplicación para IoT* [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/entities/publication/d8a371a7-99cb-47b3-9a63-22ee15e3a906>

Herrera-Rubio, J. E., y Ortiz E, V. J. (2022). Implementación de un sistema de monitoreo y control con tecnología IoT para determinar el comportamiento de las variables ambientales en la avicultura. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 10(1), 30–41. <https://doi.org/10.17081/invinno.10.1.5016>

Jongbo, A. O. (2023). Conejera alternativa a pequeña escala y su monitoreo ambiental utilizando sensores basados en Internet de las cosas (IoT). *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 15(2), e971. <https://doi.org/10.24188/recia.v15.n2.2023.971>



- Kairuz-Cabrera, D., Hernández-Rodríguez, V. M., Martínez-Laguardia, A., Hernández, L., Merino-Laso, P., y Schalm, O. (2024, 18 al 22 de marzo). Integración de Node-RED y Grafana en un sistema de monitoreo meteorológico [Conferencia]. *En Proceedings of the XIX International Convention and Fair INFORMATICA 2024*, La Habana, Cuba. <https://goo.su/IEggnpw>
- Khalil, U., Malik, O. A., Uddin, M., y Chen, C.-L. (2022). A comparative analysis on blockchain versus centralized authentication architectures for IoT-enabled smart devices in smart cities: A comprehensive review, recent advances, and future research directions. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(14), 5168. <https://doi.org/10.3390/s22145168>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Banco de indicadores para el proceso de licenciamiento ambiental*. <https://goo.su/LqZtQ>
- Moreno-Arrieta, F. J., Vides-Herrera, C. A., Roperio-Castillo, C. C., Ramón-Valencia, J. D., y Ruiz-Ayala, D. C. (2025). Sistema para la eficiencia energética en edificaciones educativas utilizando tecnologías IoT. *Prospectiva*, 23(1), 1–17. <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/3768>
- Ordúz Pérez, A. F. (2025). Simulación de un sistema IoT para monitoreo ambiental en cultivos controlados usando Wokwi y Adafruit IO. *Ingeniería Investiga*, 7. <https://doi.org/10.47796/ing.v7i00.1245>
- San Francisco UTN, F. R. (2022). Jornadas de Ciencia y Tecnología 2022. *AJEA*, 16. <https://doi.org/10.33414/ajea.1145.2022>
- Sánchez-Castillo, V. (2024). Aplicaciones de la tecnología Internet of Things en las ciencias ambientales: un estudio mixto en la base de datos Scopus. *Respuestas*, 30(1). <https://doi.org/10.22463/0122820x.4689>
- Sánchez-Cuevas, J. L., Guerrero Castillo, M. M., Mona Peña, L. J., Sánchez Jácome, O., y Velasco Pacheco, A. E. (2023). Monitoreo de temperatura y humedad ambiental con lorawan: IoT en el desafío energético y el cambio climático. *REVISTA IPSUMTEC*, 6(5), 60–67. <https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v6i5.215>
- Trendov, N. M., Varas, S., y Zeng, M. (2019). *Tecnologías digitales en la agricultura y las zonas rurales: Documento de orientación*. Repositorio del Conocimiento. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://openknowledge.fao.org/items/9c9d72f6-9438-4f51-ac9c-a792972cb80f>