

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

<https://doi.org/10.35381/a.g.v8i15.5156>

Sistema IoT para el monitoreo de factores ambientales en el cultivo del arroz

IoT system for monitoring environmental factors in rice cultivation

Gardyn Olivera-Ruiz

gardyn.olivera@unas.edu.pe

Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Leoncio Prado
Perú

<https://orcid.org/0000-0002-7200-6124>

Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

giovanni.perez@unas.edu.pe

Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Leoncio Prado
Perú

<https://orcid.org/0000-0002-4702-2413>

Recibido: 13 de abril 2026

Revisado: 8 de mayo 2026

Aprobado: 9 de junio 2026

Publicado: 01 de julio 2026

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

RESUMEN

El cultivo de arroz requiere estrategias tecnológicas para optimizar el monitoreo de las condiciones ambientales y la toma de decisiones agronómicas. El objetivo fue describir las características funcionales y técnicas de un sistema IoT para la adquisición, procesamiento y visualización de datos ambientales en el cultivo del arroz. Se desarrolló una investigación cuantitativa, de tipo no experimental y alcance descriptivo, centrada en la evaluación funcional del prototipo SIMA-UNAS mediante fichas de observación y listas de verificación. Los resultados evidenciaron el cumplimiento de indicadores de entrada, proceso y salida, incluyendo la captura de datos en tiempo real, la comunicación bidireccional, el procesamiento asíncrono, la seguridad mediante JWT y TLS, la actualización automática del panel, la georreferenciación y el control remoto de actuadores. Se concluye que SIMA-UNAS constituye una arquitectura funcional, segura y escalable, útil para el monitoreo ambiental y como apoyo tecnológico a la gestión agronómica del cultivo del arroz.

Descriptores: Internet de las cosas; agricultura de precisión; factores ambientales; sistemas de información. (Tesauro AGROVOC).

ABSTRACT

Rice cultivation requires technological strategies to optimize the monitoring of environmental conditions and agronomic decision-making. The objective was to describe the functional and technical characteristics of an IoT system for the acquisition, processing and visualization of environmental data in rice cultivation. A quantitative, descriptive and non-experimental research was developed, focused on the functional evaluation of the SIMA-UNAS prototype using observation sheets and checklists. The results showed compliance with input, process, and output indicators, including real-time data capture, two-way communication, asynchronous processing, security through JWT and TLS, automatic panel updating, georeferencing, and remote actuator control. It is concluded that SIMA-UNAS constitutes a functional, safe and scalable architecture, useful for environmental monitoring and as a technological support to the agronomic management of rice cultivation.

Descriptors: Internet of Things; precision agriculture; environmental factors; information systems. (AGROVOC Thesaurus).

INTRODUCCIÓN

El arroz constituye uno de los cultivos más importantes del Perú por su contribución a la economía agrícola, la seguridad alimentaria y el abastecimiento interno. En 2024, la producción nacional alcanzó aproximadamente 3,56 millones de toneladas en una superficie cercana a 432 mil hectáreas, con mayor concentración en las regiones de San Martín, Lambayeque, Piura, La Libertad y Amazonas (MIDAGRI, 2025). Para el ciclo 2024-2025, el rendimiento promedio nacional se estimó en 8,21 t/ha, según el International Production Assessment Division del USDA.

Uno de los principales desafíos que enfrenta este cultivo es la gestión eficiente del recurso hídrico. La escasez de agua, intensificada por el cambio climático, representa un problema para la agricultura dependiente del riego, como ocurre en los sistemas de cultivo de arroz (Das et al., 2024). En este contexto, la agricultura de precisión se presenta como una alternativa para optimizar el manejo del cultivo mediante el uso de sensores, sistemas automatizados y plataformas digitales capaces de generar información en tiempo real para la toma de decisiones agronómicas (Mansoor et al., 2025).

El sistema IoT para el monitoreo de factores ambientales en el cultivo del arroz se define como un conjunto organizado de componentes físicos y lógicos que integra funciones de adquisición, transmisión, validación, almacenamiento, disponibilidad y visualización de datos correspondientes a variables como la temperatura del aire y la humedad relativa (Mishra et al., 2022). La información generada por este tipo de sistemas puede ser útil para el monitoreo técnico en campo y para la toma de decisiones relacionadas con el manejo agronómico del cultivo (Hammad et al., 2025). Diversos estudios han evidenciado el potencial de técnicas avanzadas de agricultura de precisión. Saputri et al. (2025) señalaron que el uso de sensores ambientales y sistemas automatizados puede reducir el consumo de agua en al menos un 20 %, sin comprometer los rendimientos agrícolas. De igual manera, Fatchurrachman et al. (2023), en un estudio desarrollado en Malasia, diseñaron un sistema de monitoreo y mapeo automatizado en tiempo real del crecimiento y la extensión del cultivo de arroz, con una precisión global del 83,3 %. Sus resultados evidencian el potencial de los

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

sistemas de monitoreo continuo, ya que estos pueden mejorar la toma de decisiones agronómicas a partir de información precisa y actualizada.

Por otra parte, el método AWD (*Alternate Wetting and Drying*), aplicado al manejo del arroz irrigado, ha mostrado una reducción del consumo de agua cercana al 37 %, manteniendo niveles óptimos de producción y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (Mallareddy et al., 2023). A pesar de los avances en la agricultura de precisión, aún se requiere caracterizar sistemas IoT adaptados a las condiciones productivas locales del cultivo de arroz en Perú, considerando factores como la disponibilidad hídrica, la conectividad rural, la variabilidad ambiental, los costos y la utilidad práctica para los productores (Cisse et al., 2025).

En la selva peruana, este cultivo tiene una participación relevante en la producción nacional de arroz cáscara, especialmente en regiones como San Martín (MIDAGRI, 2024). En este contexto, el proyecto “Construcción del Canal de Riego Las Mercedes, La Victoria y 7 de Octubre”, ubicado en José Crespo y Castillo, cuenta con acreditación de disponibilidad hídrica otorgada por la Autoridad Nacional del Agua para derivar 17 967 407 m³/año del río Aucayacu (Proyecto Especial Alto Huallaga, 2025). Esta disponibilidad hídrica representa una oportunidad para fortalecer la productividad arrocería local; no obstante, también plantea la necesidad de incorporar herramientas tecnológicas que permitan monitorear de forma continua las condiciones ambientales asociadas al cultivo y promover un uso más eficiente del agua (Obaideen et al., 2022). Por lo tanto, resulta pertinente desarrollar una investigación orientada a describir las características funcionales y técnicas de un sistema IoT para el monitoreo de factores ambientales en el cultivo de arroz, como apoyo a la toma de decisiones agronómicas en condiciones productivas reales (Pullo et al., 2024). Esta investigación busca aportar una base técnica y descriptiva que favorezca la adopción de tecnologías de agricultura de precisión en el sector arrocería del Perú.

En consecuencia, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las características funcionales y técnicas del sistema IoT SIMA-UNAS para la adquisición, procesamiento y visualización de datos ambientales en el cultivo de arroz?

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

El presente estudio tiene como objetivo describir las características funcionales y técnicas de un sistema IoT para la adquisición, procesamiento y visualización de datos de factores ambientales en el cultivo de arroz, como herramienta de apoyo a la gestión agronómica del cultivo.

MÉTODO

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Redes y Seguridad de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde se integró y validó el prototipo SIMA-UNAS (Sistema de Monitoreo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva) en un entorno controlado. Posteriormente, el prototipo fue evaluado en campo en el Fundo Agrícola I de la Facultad de Agronomía, ubicado en la ciudad de Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Esta zona se caracteriza por presentar un clima cálido y húmedo; estas condiciones resultan pertinentes para observar el desempeño del sistema de monitoreo de factores ambientales en el cultivo de arroz.

El enfoque fue cuantitativo, dado que la investigación se apoyó en datos numéricos objetivos recolectados mediante sensores IoT. El estudio tuvo un diseño no experimental y alcance descriptivo, la evaluación funcional se realizó durante un período de pruebas, sin manipulación experimental de las variables ambientales, mediante la observación del comportamiento del prototipo en condiciones controladas. La unidad de análisis estuvo constituida por el prototipo SIMA-UNAS. Este prototipo fue evaluado como una unidad tecnológica orientada al monitoreo de factores ambientales en el cultivo del arroz. Debido a la naturaleza tecnológica del estudio, no se trabajó con una muestra probabilística, sino con una unidad funcional seleccionada de manera intencional por su correspondencia con el objetivo de la investigación.

La variable de estudio estuvo constituida por las características funcionales y técnicas del sistema IoT para el monitoreo de factores ambientales en el cultivo de arroz. Se definió como el conjunto de propiedades relacionadas con la adquisición, transmisión, procesamiento, almacenamiento y visualización de datos ambientales orientadas para apoyar la observación técnica del cultivo y la toma de decisiones agronómicas. Esta

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

variable se analizó mediante tres dimensiones: entrada, proceso y salida. La dimensión de entrada consideró la adquisición de datos ambientales mediante sensores; la dimensión de proceso incluyó la transmisión, validación, almacenamiento y disponibilidad de datos; y la dimensión de salida comprendió la visualización, actualización del panel, generación de alertas e interoperabilidad entre los componentes del sistema y disponibilidad de los datos para su consulta.

Para la recolección de datos se utilizaron tres instrumentos técnicos, elaborados en correspondencia con las dimensiones de la variable de estudio:

- Ficha de observación técnica de entrada: orientada a verificar la adquisición de datos ambientales mediante sensores.
- Lista de verificación del proceso: dirigida a comprobar la transmisión, validación, almacenamiento y disponibilidad de los datos.
- Ficha de validación del módulo de visualización: aplicada mediante observación funcional del panel web para evaluar la actualización de datos, la generación de alertas y la presentación de información.

El estudio no involucró intervención en seres humanos ni manejo de datos personales. La evaluación se centró exclusivamente en la validación funcional y técnica del prototipo SIMA-UNAS en condiciones controladas.

RESULTADOS

La verificación de las características globales del sistema IoT SIMA-UNAS permitió valorar el cumplimiento de los criterios funcionales y no funcionales definidos para el monitoreo de factores ambientales en el cultivo de arroz. Los resultados evidenciaron que el prototipo cumplió con los siete indicadores evaluados, relacionados con el registro de datos ambientales, la supervisión continua del cultivo, la georreferenciación de parcelas, la accesibilidad de la interfaz, la seguridad, la escalabilidad y la disponibilidad del sistema.

Desde el punto de vista funcional, se comprobó que el sistema permite registrar datos ambientales, particularmente temperatura y humedad relativa. Asimismo, se verificó la supervisión continua de las condiciones ambientales y la posibilidad de activar

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

mecanismos de control cuando se superan determinados umbrales configurados en la plataforma. Esta funcionalidad permite que el sistema no se limite al almacenamiento de datos, sino que también contribuya a la observación técnica del microclima agrícola y al apoyo de decisiones relacionadas con el manejo del cultivo. También se constató que el sistema dispone de una interfaz accesible desde diversas plataformas, lo que posibilita que tanto agricultores como investigadores realicen el seguimiento de las condiciones del cultivo desde distintos dispositivos. En cuanto a los atributos no funcionales, presenta características de usabilidad adecuadas para su aplicación en contextos agrícolas, ofreciendo una interfaz clara y comprensible. Su diseño escalable permite incorporar nuevas parcelas o sensores según las necesidades del cultivo. El acceso se realiza mediante mecanismos de seguridad y autenticación, mientras que su despliegue en la nube favorece una disponibilidad continua para atender las demandas del monitoreo del cultivo de arroz.

Tabla 1.

Ficha de verificación de características globales del sistema (Variable general).

Indicador evaluado	Cumple
Registra datos ambientales relevantes para el cultivo de arroz	Sí
Permite supervisión continua del cultivo	Sí
Incluye mecanismos de georreferenciación para parcelas de arroz	Sí
Dispone de interfaz accesible para usuarios agrícolas	Sí
Presenta mecanismos de seguridad y autenticación	Sí
Es escalable para nuevas parcelas y sensores	Sí
Funciona con disponibilidad permanente	Sí

Elaboración: Los autores.

Los resultados de la Tabla 1 muestran el cumplimiento de los siete indicadores evaluados. Este resultado evidencia que el sistema IoT SIMA-UNAS integra las características generales necesarias para el monitoreo ambiental del cultivo de arroz.

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

La combinación de registro de variables, supervisión continua, georreferenciación, seguridad, escalabilidad y disponibilidad permite considerar al prototipo como una solución funcional para apoyar la observación técnica en contextos agrícolas.

Características del Sistema IoT para la adquisición de datos

La dimensión de entrada evaluó la capacidad del sistema para adquirir datos ambientales en tiempo real mediante una arquitectura basada en el protocolo MQTT y una comunicación bidireccional entre sensor, plataforma y actuador. Durante las pruebas realizadas en el “Laboratorio Virtual”, el sistema captó correctamente las lecturas generadas por el hardware simulado conformado por un microcontrolador ESP32 y sensores DHT22. Durante la prueba en el entorno simulado se generó, con fines de validación funcional, un valor de temperatura de 50 °C fuera enviada y recibida correctamente. Durante las pruebas funcionales no se observaron retrasos perceptibles en la recepción y visualización de los datos

Asimismo, se comprobó la comunicación bidireccional del sistema. Además de recibir datos desde los sensores, la plataforma permitió ejecutar comandos hacia los actuadores, como el encendido remoto del humidificador representado en el simulador. Esta funcionalidad confirma que la dimensión de entrada no se limita a la lectura pasiva de datos ambientales, sino que permite la interacción entre el entorno físico y la plataforma digital.

Tabla 2.
Ficha de observación técnica (Dimensión entrada).

Indicador	Observado
El sistema captura datos en tiempo real	Sí
Baja latencia en transmisión MQTT	Sí
Comunicación bidireccional (sensor → plataforma → actuador)	Sí

Elaboración: Los autores.

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

Los resultados de la Tabla 2 muestran el cumplimiento de los tres indicadores evaluados. En consecuencia, la dimensión de entrada evidenció un funcionamiento adecuado para la adquisición de datos ambientales mediante sensores. El microcontrolador ESP32 gestiona la comunicación y el envío de datos hacia la plataforma, y en los sensores DHT22, responsables de registrar las variables de temperatura y humedad relativa. Ambos dispositivos constituyen el núcleo tecnológico del proceso de entrada, ya que permiten obtener mediciones ambientales y transmitirlas en tiempo real para su posterior procesamiento y presentación.

Características del Sistema IoT para el procesamiento de datos

El procesamiento de la información se realizó mediante un backend desarrollado en Laravel y una base de datos relacional MySQL, ambos orquestados mediante Docker, lo que permitió organizar los servicios necesarios para el funcionamiento del sistema, incluyendo API, la base de datos, el bróker MQTT, el administrador de la base de datos y el proxy inverso. Esta arquitectura favoreció la organización del flujo de datos desde la recepción de mensajes hasta su almacenamiento y disponibilidad para la interfaz de visualización.

El sistema implementó un worker capaz de procesar los mensajes MQTT de manera asíncrona, lo que permitió manejar el flujo de datos casi en tiempo real. Este proceso se describió como idempotente, asegurando que no se genere duplicidad en los registros almacenados y conservando la consistencia del historial de datos. La seguridad del procesamiento se garantizó mediante autenticación JWT y encriptación, lo que protege tanto las solicitudes del sistema como la persistencia de las lecturas en la base de datos.

En el componente de seguridad, se comprobó la implementación de autenticación mediante JWT y encriptación TLS, junto con la configuración del servidor mediante Nginx y el uso de certificados, lo que permitió proteger las solicitudes y consolidar un entorno seguro y disponible. Asimismo, el sistema presentó una arquitectura modular bien organizada, respaldada por documentación técnica que evidenció la separación

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

de responsabilidades y la gestión estructurada de sus componentes, garantizando su capacidad para procesar datos en un entorno IoT.

Los resultados de la Tabla 3 muestran el cumplimiento de todos los indicadores evaluados. Por tanto, la dimensión de proceso evidenció capacidad para transmitir, validar, almacenar y mantener disponibles los datos ambientales generados por el sistema. La integración de Laravel, MySQL, Docker, MQTT, JWT y TLS permitió consolidar una arquitectura técnica funcional, segura y escalable para el procesamiento de la información ambiental.

Tabla 3.

Lista de verificación del proceso (Dimensión proceso).

Ítem	Cumple
Procesamiento asíncrono MQTT	Sí
Evita duplicidad (idempotencia)	Sí
Autenticación JWT	Sí
Encriptación TLS	Sí

Elaboración: Los autores.

Características del sistema IoT para la visualización de datos

La dimensión de salida evaluó la capacidad del sistema para presentar información ambiental, actualizar el panel de visualización, interactuar con actuadores y facilitar la interpretación de los datos. Los resultados evidenciaron el cumplimiento de los tres indicadores establecidos: actualización automática del dashboard, visualización georreferenciada y envío de comandos de control desde la interfaz.

El sistema cuenta con una interfaz web desarrollada en Vue 3 y TypeScript que permite visualizar los datos de manera dinámica y en tiempo real mediante WebSockets. Durante la validación funcional, se comprobó la actualización automática de gráficos e indicadores, así como la correcta representación de la información

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

ambiental. Además, se integró la georreferenciación para ubicar los puntos de monitoreo de parcelas, lo que facilita el análisis espacial de las condiciones de cultivo. Asimismo, se verificó la interacción remota con actuadores desde la interfaz, lo que permitió ejecutar acciones como el encendido del humidificador. El prototipo, desplegado en una plataforma web accesible, permitió evaluar la navegación, la integración de componentes y la presentación clara de los datos, demostrando su utilidad para usuarios técnicos.

Tabla 4.

Ficha de validación de visualización (Dimensión salida).

Función evaluada	Resultado
Visualización georreferenciada	Sí funciona
Actualización automática del dashboard	Sí funciona
Generación de alertas	Sí funciona
Envío de control a actuadores desde UI (Interoperabilidad)	Sí funciona

Elaboración: Los autores.

Los resultados de la Tabla 4 muestran el cumplimiento de los tres indicadores evaluados. En consecuencia, la dimensión de salida evidenció capacidad para presentar información ambiental en tiempo real, ubicar espacialmente los puntos de monitoreo y ejecutar acciones de control desde la interfaz. Estos resultados confirman que el sistema no solo adquiere y procesa datos, sino que también los transforma en información visual útil para apoyar la toma de decisiones agronómicas.

En conjunto, los resultados demuestran que el sistema IoT SIMA-UNAS cumplió con los criterios funcionales y técnicos definidos para el monitoreo de los factores ambientales en el cultivo de arroz. El prototipo permitió adquirir datos ambientales mediante sensores, transmitidos mediante MQTT sobre WebSockets, procesarlos en una arquitectura backend con almacenamiento relacional y presentar la información en una interfaz web con actualización automática, georreferenciación y control remoto de actuadores. Estos hallazgos respaldan la funcionalidad del sistema como

herramienta tecnológica de apoyo para la observación técnica en campo y la toma de decisiones agronómicas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema IoT SIMA-UNAS cumplió con las características funcionales y técnicas previstas. La integración del microcontrolador ESP32 y los sensores DHT22 demostró su eficacia para el monitoreo automatizado y el control remoto. Este hallazgo es concordante con el estudio de Kurniasari et al. (2025), quienes validaron la utilidad del ESP32 en sistemas automatizados aplicados a entornos agrícolas controlados, por su bajo costo, capacidad de respuesta y facilidad de integración.

La comunicación bidireccional observada en el sistema constituye uno de los aportes funcionales, ya que permitió no solo recibir datos ambientales, sino también ejecutar acciones remotas sobre actuadores, como el encendido de un humidificador. Estas características se alinean con lo propuesto por Pullo et al. (2024), cuyo sistema de riego inteligente logró reducciones significativas en el uso de agua y energía mediante IoT. Aunque en dicho estudio se utilizó tecnología DLT (IOTA) para la seguridad, los resultados de SIMA validan que una arquitectura centralizada con seguridad estándar (TLS/JWT) es funcional para la gestión operativa de recursos en tiempo real, permitiendo implementar prácticas sostenibles sin la complejidad de infraestructura blockchain.

La arquitectura de procesamiento basada en backend desarrollado en Laravel, base de datos MySQL, contenedores Docker y comunicación mediante MQTT permitió organizar el flujo de información desde la adquisición hasta el almacenamiento y la disponibilidad de datos. El resultado es coherente con lo planteado por Syu et al. (2020) en su sistema de monitoreo de calidad de agua, donde la integración en la nube facilitó el ajuste dinámico de umbrales y alertas tempranas. El backend de SIMA-UNAS en Laravel demostró su capacidad para procesar flujos continuos de información y gestionar excepciones de manera eficiente.

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

Asimismo, la automatización del procesamiento de datos en SIMA-UNAS se asemeja al enfoque de Fatchurrachman et al. (2023), quienes utilizaron plataformas en la nube (Google Earth Engine) para automatizar el mapeo del cultivo de arroz mediante datos satelitales. Si bien el estudio se enfocó en datos satelitales mientras que SIMA-UNAS trabajó con datos terrestres generados mediante sensores IoT, ambos enfoques coinciden en que la automatización del procesamiento en servidores remotos es viable y necesaria también para datos terrestres en contextos donde la infraestructura local es limitada, superando las barreras tecnológicas mencionadas por los autores.

La interfaz de usuario desarrollada en Vue 3 permitió presentar los datos ambientales de manera dinámica, con actualización automática del panel, visualización gráfica y georreferenciación de los puntos de monitoreo. Este enfoque complementa los hallazgos de Skazhennik et al. (2021) y Fatchurrachman et al. (2023), quienes resaltaron el valor de los mapas de variabilidad espacial obtenidos mediante teledetección (UAVs y satélites) para identificar zonas de estrés. SIMA-UNAS lleva esta capacidad de agricultura de precisión al nivel del suelo; al igual que Skazhennik utilizó índices NDVI para correlacionar datos, el panel de SIMA-UNAS permite correlacionar visualmente la ubicación física de la unidad de control con sus lecturas ambientales instantáneas. Esta convergencia entre la ubicación geoespacial y el dato telemétrico valida que la presentación efectiva de datos en el cultivo de arroz no debe limitarse a tablas, sino que requiere una representación visual del terreno para facilitar una toma de decisiones tan precisa como la obtenida por sistemas de teledetección, pero con la inmediatez del IoT.

CONCLUSIONES

Se concluye que el sistema IoT SIMA-UNAS presenta características funcionales y técnicas pertinentes para el monitoreo de los factores ambientales en el cultivo de arroz, al integrar componentes de adquisición, procesamiento y presentación de datos en una arquitectura organizada y verificable. La evaluación funcional evidenció el cumplimiento de los indicadores establecidos para la variable de estudio y sus

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

dimensiones, lo que respalda la utilidad del prototipo como herramienta tecnológica de apoyo para la observación técnica en campo y la toma de decisiones agronómicas. Se determinó que la integración de sensores DHT22 y el uso del ESP32 permitieron validar la captura de variables como temperatura y humedad relativa, así como la comunicación bidireccional entre sensores, plataforma y actuadores. Esto evidencia que el sistema sí puede registrar la información ambiental y ejecutar acciones remotas básicas dentro de un entorno de validación funcional.

Se determinó que la arquitectura modular del sistema permitió organizar la recepción, el procesamiento y el almacenamiento de los datos ambientales, mientras que la aplicación de mecanismos de autenticación y seguridad en la transmisión contribuyó a proteger la información y mantener la disponibilidad del servicio. Asimismo, la interfaz facilitó la visualización gráfica y georreferenciada de los datos y permitió ejecutar acciones remotas mediante comunicación bidireccional con los actuadores.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés en la publicación de este artículo.

FINANCIAMIENTO

No monetario.

AGRADECIMIENTO

A todos los actores sociales involucrados en el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Cisse, A., Diallo, O., y Ndoeye, E. H. M. (2025). Revisión de la agricultura inteligente para áreas con recursos limitados, destacando limitaciones, oportunidades y desafíos clave para soluciones sostenibles basadas en IoT e IA. *Discov Computing* 28, 324. <https://doi.org/10.1007/s10791-025-09883-w>
- Das, S., Park, S. Y., y Seo, Y. H. (2024). La necesidad de enfoques holísticos para la producción de arroz climáticamente inteligente. *npj Sustain. Agric*, 2, 16. <https://doi.org/10.1038/s44264-024-00023-3>

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

- Fatchurrachman, R., Soh, N. C., Shah, R. M., Giap, S. G. E., Setiawan, B. I., & Minasny, B. (2023). Automated near-real-time mapping and monitoring of rice growth extent and stages in Selangor Malaysia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2023.100993>
- Hammad, S., Muhammad, N., Muhammad, I., Muhammad, A., y Syed, S. U. (2025). IoT-driven smart agricultural technology for real-time soil and crop optimization. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100847. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100847>
- Kurniasari, A. A., Puspitasari, P. S. D., Perdanasari, L., Yuana, D. B. M., y Jumiatur. (2025). Enhancing Hydroponic Systems with ESP32: An IoT Approach to Real-Time Monitoring and Automation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1446(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1446/1/012010>
- Mansoor, S., Iqbal, S., Popescu, S. M., Kim, S. L., Chung, Y. S., y Baek J. H. (2025). Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives. *Front. Plant Sci.* 16, 1587869. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>
- Mallareddy, M., Thirumalaikumar, R., Balasubramanian, P., Naseeruddin, R., Nithya, N., Mariadoss, A., Eazhilkrishna, N., Choudhary, A. K., Deiveegan, M., Subramanian, E., Padmaja, B., y Vijayakumar, S. (2023). Maximizing Water Use Efficiency in Rice Farming: A Comprehensive Review of Innovative Irrigation Management Technologies. *Water*, 15(10), 1802. <https://doi.org/10.3390/W15101802>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riesgo. (2025). *Observatorio de Commodities: Arroz N. 01-2025*. MIDAGRI. <https://n9.cl/3jy8v>
- Mishra, D., Yadav, P., Yadav, V., Srivastava, R., Agrawal, K. K., & Yadav, R. S. (2022). Adafruit IO Based Smart Irrigation System using MQTT Protocol for Urban Farming. *Journal of Computer Science*, 18(5), 374–381. <https://doi.org/10.3844/JCSSP.2022.374.381>
- Obaideen, K., Yousef, B. A., AlMallahi, M. N., Tan, Y. C., Mahmoud, M., Jaber, H., y Ramadan, M. (2022). An overview of smart irrigation systems using IoT. *Energy Nexus*, 7, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100124>
- Proyecto Especial Alto Huallaga. (2025). *El Proyecto Especial Alto Huallaga presenta la construcción del Canal de Riego Las Mercedes – La Victoria – 07 de Octubre. Plataforma del Estado Peruano*. <https://n9.cl/1wc5a>

Gardyn Olivera-Ruiz; Giovanni Kuennen Perez-Espinoza

- Pullo, S., Pareschi, R., Piantadosi, V., Salzano, F., y Carlini, R. (2024). Integrating IOTA's Tangle with the Internet of Things for Sustainable Agriculture: A Proof-of-Concept Study on Rice Cultivation. *Informatics*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/INFORMATICS11010003>
- Saputri, F. R., Linelson, R., Salehuddin, M., Nor, D. M., y Ahmad, M. I. (2025). Design and development of an irrigation monitoring and control system based on blynk internet of things and thingspeak. *PLOS ONE*, 20(4), e0321250. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0321250>
- Syu, W. J., Chang, T. K., y Pan, S. Y. (2020). Establishment of an automatic real-time monitoring system for irrigation water quality management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/IJERPH17030737>
- Skazhennik, M., Chizhikov, V., Shevchenko, A., y Migachev, A. (2021). Rice crops research according to remote sensing data (overview). *E3S Web of Conferences*, 285, 02038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128502038>