



Desarrollo y despliegue de sensores IOT en campos agrícolas para el monitoreo continuo de variables ambientales

Development and deployment of IoT sensors in agricultural fields for continuous monitoring of environmental variables

Desenvolvimento e implementação de sensores IoT em campos agrícolas para monitorização contínua de variáveis ambientais

Mike Paolo Machuca Avalos ^I
mike.machuca@uleam.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1093-3886>

Mirabella Del Jesús Lucas Ormaza ^{II}
mirabella.lucas@uleam.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1817-6712>

Luis Jacinto Mendoza Cuzme ^{III}
luis.mendoza@uleam.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7621-5743>

Correspondencia: mike.machuca@uleam.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 26 de febrero de 2025 * **Aceptado:** 24 de marzo de 2025 * **Publicado:** 23 de abril de 2025

- I. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador.
- II. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador.
- III. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador.

Resumen

El objetivo de este ensayo es presentar un análisis profundo sobre las tendencias y avances en el desarrollo de sensores IoT para la agricultura, analizando su impacto en la agricultura de precisión y la gestión sostenible de los recursos. En tal sentido se ha encontrado que el uso de sensores IoT en la agricultura presenta numerosas oportunidades para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las prácticas agrícolas. Sin embargo, su éxito depende de abordar los desafíos asociados con la implementación, el costo, la capacitación y la infraestructura tecnológica. Estos desafíos deben ser superados para maximizar el potencial de las soluciones IoT en la agricultura y facilitar un monitoreo ambiental más eficiente y preciso. Es esencial garantizar que los datos recopilados estén protegidos y que los sistemas sean confiables.

Palabras Clave: sensores IoT; agricultura; monitoreo ambiental.

Abstract

The objective of this essay is to present an in-depth analysis of the trends and advances in the development of IoT sensors for agriculture, analyzing their impact on precision agriculture and sustainable resource management. In this regard, it has been found that the use of IoT sensors in agriculture presents numerous opportunities to improve the efficiency and sustainability of agricultural practices. However, their success depends on addressing challenges associated with implementation, cost, training, and technological infrastructure. These challenges must be overcome to maximize the potential of IoT solutions in agriculture and facilitate more efficient and accurate environmental monitoring. It is essential to ensure that the collected data is protected and that the systems are reliable.

Keywords: IoT sensors; agriculture; environmental monitoring.

Resumo

O objetivo deste ensaio é apresentar uma análise aprofundada das tendências e avanços no desenvolvimento de sensores IoT para a agricultura, analisando o seu impacto na agricultura de precisão e na gestão sustentável dos recursos. Neste sentido, verificou-se que a utilização de sensores IoT na agricultura apresenta inúmeras oportunidades para melhorar a eficiência e a sustentabilidade das práticas agrícolas. No entanto, o seu sucesso depende de enfrentar de desafios associados à implementação, custo, formação e infraestrutura tecnológica. Estes desafios devem

ser ultrapassados para maximizar o potencial das soluções IoT na agricultura e facilitar uma monitorização ambiental mais eficiente e precisa. É essencial garantir que os dados recolhidos são protegidos e que os sistemas são fiáveis.

Palavras-chave: sensores de lote; agricultura; monitorização ambiental.

Introducción

El Internet de las Cosas (IoT) simboliza una tecnología transformadora que ha proporcionado numerosas ventajas tanto a la sociedad como a las organizaciones en los últimos años. Uno de los aspectos más destacados de esta tecnología es su capacidad para proporcionar la producción y el consumo de servicios en menor tiempo . Las aplicaciones del IoT comprenden múltiples sectores, incluyendo el tráfico, la atención médica, la seguridad, los hogares y ciudades inteligentes, así como la agricultura (Montaño, Briceño, Jiménez, & González, 2021) (Singh, Cho, & Ra, 2020) En el ámbito agrícola, el IoT se realiza en numerosas áreas y niveles de la fabricación industrial, lo que facilita un monitoreo efectivo y la automatización de procesos (. Medela, González, Crespo, & Nevares, 2013,)Este enfoque se traduce en la creación de cultivos e invernaderos que pueden ser controlados con alta precisión (Farooq, Riaz, Abid, & Umer, 2020.). La agricultura de precisión, en particular, busca ofrecer un sistema que respalde la toma de decisiones, permitiendo a los agricultores adoptar prácticas más eficientes. Esto no solo contribuye a aumentar la rentabilidad, sino que también ayuda a mitigar los riesgos ambientales y a conservar los recursos naturales (García, Parra, Jimenez, & Lloret, , 2020.). En este contexto, el desarrollo y despliegue de sensores IoT en campos agrícolas se convierte en una instrumento clave para el monitoreo continuo de variables ambientales, perfeccionando así la gestión agrícola y promoviendo un uso sostenible de los recursos.

Las soluciones de monitoreo en el ámbito agrícola se implementan mediante el uso de sensores y dispositivos diseñados para asistir a los agricultores en la recopilación de datos críticos que impactan efectivamente en el crecimiento y la producción de los cultivos (Chen, Hu, & Wang, 2014). Varias iniciativas que utilizan la tecnología IoT permiten el análisis y procesamiento de datos de manera remota a través de servicios en la nube facilitando así la toma de decisiones para agricultores. Un ejemplo práctico de gestión IoT es donde se monitorean variables como el viento, las condiciones del suelo, la atmósfera y el agua en extensas áreas agrícolas. Estas soluciones se clasifican según diferentes elementos de monitoreo, que incluyen el análisis del suelo, la calidad

del aire, la temperatura, el agua, la detección de enfermedades, la ubicación, las condiciones ambientales, las plagas y la fertilización. (Giorgetti, y otros, 2016)

Además, se enfatiza cómo el paradigma IoT potencia la interacción entre los seres humanos y el entorno físico mediante el uso de dispositivos electrónicos, protocolos de comunicación de bajo costo y tecnologías de comunicación innovadoras. Un ejemplo notable es la tecnología de comunicación inalámbrica Sigfox, que se clasifica como una red de área amplia de baja potencia (LPWAN). Esta tecnología se caracteriza por su amplio alcance, transmisión de datos segura y bajo consumo energético (Zheng, Zhang, Liu, & Wang, 2016). Además de lo anterior, utiliza espectro de radio sin licencia en las bandas industrial, científica y médica (ISM), permitiendo la comunicación bidireccional entre usuarios y sensores, ya sea de forma individual o grupal. Por lo tanto, Sigfox resulta ideal para aplicaciones IoT que requieren la transmisión de pequeños paquetes de datos con un consumo energético mínimo. (Medela, Cendón, González, Crespo, & Nevares, k 2013)

Un estudio relevante llevado a cabo por (Newell, Yao, Ryker, Ho, & Nita-Rotaru, 2015) presenta un sistema de monitoreo escalable basado en IoT que incluye capacidades predictivas para aplicaciones agrícolas. Este sistema se fundamenta en una arquitectura efectiva de cuatro capas y establece la conectividad necesaria entre los dispositivos, lo que refuerza la importancia del desarrollo y despliegue de sensores IoT en campos agrícolas para el monitoreo continuo de variables ambientales.

Se comprende entonces que en la última década, la agricultura ha experimentado una transformación significativa impulsada por la adopción de tecnologías emergentes, entre las cuales destaca el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés). La implementación de sensores IoT en campos agrícolas ha revolucionado la manera en que se monitorean y gestionan las variables ambientales, permitiendo un enfoque más preciso y eficiente en la producción agrícola. Estos dispositivos, que recopilan datos en tiempo real sobre condiciones como la temperatura, humedad, calidad del suelo y otros factores críticos, proporcionan a los agricultores información valiosa para la toma de decisiones (Hernández, Luna, & Pérez, 2022.).

En tal sentido, el desarrollo y despliegue de sensores IoT en entornos agrícolas no solo optimiza el uso de recursos, sino que también contribuye a la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas frente a los desafíos climáticos y económicos actuales. Esto evidencia la capacidad de realizar un monitoreo continuo de las variables ambientales, permite además detectar anomalías de

manera temprana y ajustar las prácticas agrícolas, lo que resulta en un aumento de la productividad y una reducción de desperdicios (Yamini, 2024).

Este artículo tiene como objetivo presentar un análisis profundo sobre las tendencias y avances en el desarrollo de sensores IoT para la agricultura, analizando su impacto en la agricultura de precisión y la gestión sostenible de los recursos. Además se discutirán las tecnologías implicadas, los desafíos en su ejecución y las oportunidades que ofrecen para transformar la agricultura moderna, recalcando la importancia de la combinación de estos sistemas en un contexto global donde la demanda alimentaria y el cambio climático representan un desafío constante (Eterovic, (2022)).

DESARROLLO

La expansión de Internet en las últimas dos décadas ha generado innumerables ventajas tanto para las empresas como para las personas a nivel mundial. Uno de los principales aportes de esta innovación digital ha sido la capacidad de ofrecer y acceder a servicios en tiempo inmediato. En este contexto, el Internet de las Cosas (IoT) se presenta como una tecnología que promete responder a estos beneficios a través de sus innovadoras aplicaciones, facilitando una mejora en la percepción y capacidad de los usuarios al adaptar sus entornos de trabajo. Del mismo modo, la IoT brinda soluciones en múltiples sectores, incluyendo la salud, el comercio, la seguridad, los hogares inteligentes, las ciudades inteligentes y, de manera significativa, la agricultura. (Monica, Yeshika, Abhishek, & Sanjay, 2017)

La adopción de tecnologías IoT en el ámbito agrícola se considera especialmente valiosa debido a la necesidad de un monitoreo y control constantes en esta área. En el sector agrícola, el IoT se implementa en diversas etapas de la cadena de producción, abarcando aplicaciones clave como la agricultura de precisión, la gestión ganadera y el cultivo en invernaderos, las cuales se organizan en distintos dominios de monitoreo. Estas aplicaciones dependen de una variedad de sensores y dispositivos IoT, que se conectan a través de redes de sensores inalámbricos (WSN), permitiendo a los agricultores recolectar datos relevantes mediante tecnologías de detección (Perera, Liu, Jayawardena, & Chen, 2014).

Además, algunas configuraciones IoT analizan y procesan información de manera remota a través de servicios en la nube, lo que facilita a investigadores y agricultores la toma de decisiones más consientes. Con el continuo avance tecnológico, las soluciones para el monitoreo ambiental han

evolucionado, ofreciendo herramientas adicionales para la gestión y la toma de decisiones. Un aspecto importante de este sistema es su capacidad para gestionar automáticamente fallas en los nodos y optimizar las conexiones de comunicación de baja calidad dentro de la red (Lei, 2020).

Por otra parte, algunas investigaciones recientes han propuesto sistemas de gestión IoT que rastrean variables ambientales como el viento, el suelo, la atmósfera y el agua en extensas áreas agrícolas. Asimismo, se han clasificado soluciones de monitoreo agrícola basadas en IoT según sus subdominios, que incluyen el monitoreo del suelo, aire, temperatura, agua, enfermedades, ubicación, condiciones ambientales, plagas y fertilización. El paradigma IoT no solo optimiza la interacción humana con el entorno físico a través de dispositivos electrónicos y protocolos de comunicación económicos, sino que también permite el monitoreo absoluto de diversas condiciones ambientales (Hassan, 2024) Esto facilita la creación de mapas en tiempo real que reflejan niveles de ruido, calidad del aire, contaminación del agua, temperatura y radiaciones nocivas. Los datos recolectados sobre los diferentes parámetros ambientales se transmiten a los usuarios a través de alertas activadas o recomendaciones enviadas a las autoridades pertinentes. En resumen, el desarrollo y despliegue de sensores IoT en campos agrícolas representa una revolución en el monitoreo continuo.

A pesar de los recientes avances en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), su integración en el sector agrícola enfrenta múltiples desafíos que obstaculizan su adopción generalizada. Uno de los principales inconvenientes radica en la variabilidad de las condiciones climáticas dentro de invernaderos y campos de cultivo, la cual ejerce un impacto significativo en la productividad agrícola. Para abordar este problema, es decisivo establecer múltiples puntos de medición en distintos sectores del campo, lo que permitirá obtener datos más precisos sobre el comportamiento de las variables ambientales (Puello, 2022).

La implementación de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) en el ámbito agrícola presenta una serie de retos que deben ser abordados para optimizar su efectividad. A continuación, se analizan algunos de los problemas más críticos identificados en la literatura.

Por una parte, los aspectos relativos a la seguridad (Wydler, 2020) puesto que los agricultores enfrentan a riesgos significativos, como la pérdida de datos y otros datos esenciales, resultado de vulnerabilidades en la seguridad. Estos riesgos se agravan por interferencias físicas, incluyendo ataques de fauna y alteraciones en la instalación de los dispositivos. Por otra parte, la naturaleza de

los dispositivos IoT, que operan con recursos limitados de energía y memoria, dificulta la implementación de algoritmos de seguridad robustos.

Además, los servicios de agricultura de precisión, que dependen de la localización habilitada por IoT, son susceptibles a ciberataques, lo que pone en riesgo la integridad de los datos y la operatividad de los sensores, como por ejemplo debilidades en la nube, ataques de secuestro, problemas en bases de datos y ataques de denegación de servicio (DoS).

El segundo aspecto se refiere a los costos (Wydler, 2020) tanto en términos de configuración como de operación. Los gastos iniciales incluyen la adquisición de hardware, como sensores y dispositivos de conectividad, así como la infraestructura necesaria para su funcionamiento. Por otro lado, los costos operativos implican suscripciones continuas para la gestión de dispositivos y el intercambio de datos entre servicios.

El tercer aspecto se relaciona directamente con el conocimiento tecnológico (Wydler, 2020) entre los agricultores, especialmente en regiones rurales y en países en desarrollo, por lo cual la capacitación adecuada es esencial antes de la implementación de tecnologías IoT, lo que requiere una inversión considerable en formación

Otro aspecto relevante en la confiabilidad (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, & Ayyash, 2015) ya que están expuestos a condiciones ambientales variables que pueden afectar su desempeño y provocar fallos en la comunicación. Por lo tanto, es necesario garantizar la protección física de estos dispositivos frente a fenómenos climáticos adversos para asegurar su funcionalidad y confiabilidad [6].

Además de lo anterior, otro desafío es la escalabilidad (Wydler, 2020) debido a que este sistema demanda de gestión inteligente que permita la identificación y control de cada nodo de manera efectiva. La escalabilidad de las soluciones IoT por lo que es vital para adaptarse al crecimiento y expansión de las operaciones agrícolas.

En este mismo orden de ideas está la localización (Wydler, 2020) ya que la ubicación estratégica de los dispositivos es fundamental para asegurar su operatividad, ya que deben ser capaces de comunicarse eficazmente y proporcionar datos sin interferencias, lo que implica seleccionar cuidadosamente los puntos de instalación

Otro desafío es la Interoperabilidad (Wydler, 2020) ya que involucra la interacción de miles de millones de dispositivos que utilizan distintos protocolos y estándares. Esta interacción abarca aspectos semánticos, sintácticos, técnicos y organizacionales, y es vital para facilitar la

comunicación y el intercambio de datos entre diferentes sistemas . Como alternativa se encuentra la adopción de estándares abiertos y colaboraciones entre desarrolladores.

Por último la Integración de IoT y computación en la nube (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, & Ayyash, 2015) es un desafío al buscar integrar y analizar datos del mundo real a través de dispositivos IoT distribuidos. Sin embargo, los agricultores enfrentan limitaciones relacionadas con la conectividad a Internet y la eficiencia de los dispositivos de comunicación, lo que complica el intercambio de datos y el monitoreo continuo.

CONCLUSIONES

El desarrollo y despliegue de sensores IoT (Internet de las Cosas) en campos agrícolas para el monitoreo continuo de variables ambientales ha generado un impacto significativo en la agricultura moderna

Se ha encontrado que : los sensores IoT permiten la optimización de recursos debido a que permiten un uso más eficiente de recursos como el agua, fertilizantes y pesticidas. Al proporcionar datos en tiempo real sobre la humedad del suelo, la temperatura y otras variables, los agricultores pueden tomar decisiones sobre el riego y la aplicación de insumos.

Un segundo aspecto es la mejora en la toma de decisiones, y el aumento de la productividad debido a la recopilación de datos continuos y su análisis permite la toma de decisiones basadas en evidencia., por lo que esto favorece anticipar problemas, como plagas o enfermedades, y actuar rápidamente para mitigarlos, pueden además optimizar el crecimiento de los cultivos lo que conduce a un aumento en la productividad y la calidad de la cosecha.

La implementación de tecnologías IoT en la agricultura contribuye a prácticas más sostenibles, al minimizar el desperdicio de recursos y reduce el impacto ambiental al permitir una agricultura de precisión. Además debido a que se exige la conectividad a Internet y la accesibilidad a tecnologías de IoT , en muchas áreas rurales, la falta de infraestructura puede ser un obstáculo para la implementación efectiva de estas tecnologías.

Por último se hace necesario la capacitación y educación para los agricultores que les lleve a saber cómo utilizar estos dispositivos y entender los datos generados, manejar la ciberseguridad y la protección de datos, los cuales son preocupaciones importantes al implementar tecnologías IoT

Referencias

- . Medela, A. ., González, L., Crespo, R., & Nevares, I. (2013.). "IoT multiplatform networking to monitor and control wineries and vineyards," in 2013. Future Network & Mobile Summit, , Available: <https://bit.ly/3E6vwGx> pp. 1–10..
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet de las cosas: Un estudio sobre tecnologías, protocolos y aplicaciones facilitadoras. . IEEE Commun. Surv. Tutor. , 17 , 2347–237.
- Chen, S. ., Hu, B., & Wang, H. (2014). "A vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with china perspective,". IEEE Internet of Things Journal., vol.1, no. 4, pp. 349–359, : <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.233>.
- Eterovic, J. C. ((2022)). Análisis de la seguridad de los datos en internet de las cosas, con tecnología Blockchain. , e. Salamanca, España: Anuario De Investigación USAL.
- Farooq, M., Riaz, S., Abid, A., & Umer, T. . (2020.). "Role of IoT technology in agriculture: A systematic literature review,". Electronics,, vol. 9, no. 2, p. 319, Available: <https://doi.org/10.3390/electronics9020319>.
- García, L., Parra, L., Jimenez, J., & Lloret, J. . (, 2020.). "IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture,". Sensors, vol. 20, no. 4, p. 1042 : <https://doi.org/10.3390/s20041042>.
- Giorgetti, A., Lucchi, M., Tavelli, E., Barla, M., Gigli, G., Casagli, N., & Dardari, D. (2016). Una robusta red de sensores inalámbricos para el análisis de riesgo de deslizamientos de tierra: diseño, implementación y pruebas de campo del sistema.J. IEEE Sens. , <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7488208>.
- Hassan, Q. V.-M. (2024). The renewable energy role in the global energy Transformations Renew. Energy Focu.
- Hernández, C., Luna, J., & Pérez, R. (2022.). "Design and deployment of a practical IoT-based monitoring system for protected cultivations,., Computer Communications, vol. 186, pp. 51–64 <https://doi.org/10.101016/j.comcom.2022.01.009>.
- Lei, K. D. (2020). Groupchain: Towards a Scalable Public Blockchain in Fog Computing of IoT Services Computing. EEE Trans. Serv. Comput, 13, 252–262.

- Medela, A., Cendón, B., González, L., Crespo, R., & Nevares, I. (2013). Redes multiplataforma IoT para seguimiento y control de bodegas y viñedos. , 3 a 5 de julio de 2013. En Actas de la Cumbre Móvil Future Networ, (págs. ; págs. 1–10.). , Lisboa, Portugal.
- Monica, B., Yeshika, G., Abhishek, H., & Sanjay, S. . (2017). “IoT based control and automation of smart irrigation system: An automated irrigation system using sensors, GSM, bluetooth and cloud technology,”. *technologY*, <https://bit.ly/3xIFgsv>.
- Montaño, J., Briceño, O., Jiménez, S., & González, E. (2021). Sistema integral de hogar inteligente basado en home assistant y raspberry PI. *Tecnología e innovación frente a los desafíos de un siglo en curso*, pp. 101–12 <https://bit.ly/3IoQjYn>.
- Newell, A., Yao, H., Ryker, A., Ho, T., & Nita-Rotaru, C. (2015). Establecimiento de claves resilientes mediante captura de nodos en redes de sensores: Espacio de diseño y nuevos protocolos. *ACM Comput. Sur*, 47 , 1–34.
- Perera, C., Liu, C., Jayawardena, S., & Chen, M. (2014). Un estudio sobre el Internet de las Cosas desde la perspectiva del mercado industrial. *IEEE Access*, 2 , 1660–1679.
- Puello, P. H. (2022). Propuesta de plan de pruebas orientado a proyectos de Internet de las Cosas. *. Teknos revista científica*, 59-73.
- Singh, S. ., Cho, G., & Ra, I. (2020). Convergence of blockchain and artificial intelligence in IoT network for the sustainable smart city,”. *Sustainable Cities and Society*, vol. 63, p. 102364,. .
- Wydler, D. (2020). *Seguridad y privacidad para el consumidor de IoT*. . Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires Facultades de Ciencias Económicas.
- Yamini, R. N. (2024). Aplicaciones de biosensores y bioelectrónica en la agricultura y la acuicultura. *bioelectronica*, 193 209.
- Zheng, R., Zhang, T., Liu, Z., & Wang, H. (2016). Un sistema EIoT diseñado para la gestión ecológica y ambiental del segmento Xianghe del Gran Canal de China.,. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, 23 , 372–380. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13504509.2015.1124470>.