



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i4.3691>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Utilización de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego

Use of IoT sensors for the automation of irrigation systems

Utilização de sensores IoT para automação de sistemas de irrigação

Lenín Gustavo Viera Molina ^I
lenin.viera7714@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-9820-5307>

Cristian Orlando Guilcaso Molina ^{II}
cristian.guilcaso6706@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4745-8951>

Correspondencia: lenin.viera7714@utc.edu.ec

***Recibido:** 10 de octubre de 2023 ***Aceptado:** 30 de octubre de 2023 *** Publicado:** 30 de noviembre de 2023

- I. Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.

Resumen

La creciente escasez de agua está obligando al sector agrícola a implementar métodos más eficientes de riego. Los sistemas automatizados basados en IoT que emplean redes de sensores y modelos de requerimientos hídricos han demostrado reducir el uso de este recurso entre 20% a 40% frente a aproximaciones temporizadas. Sin embargo, los significativos costos de adopción y problemas técnicos obstaculizan su incorporación masiva, especialmente en países en vías de desarrollo. El presente artículo, mediante la revisión de literatura, analiza alternativas IoT para la automatización de riego en cultivos, considerando diferentes tecnologías. Los resultados evidencian el potencial de soluciones basadas en sensores de humedad de suelo, plataformas Arduino/Raspberry Pi y protocolos inalámbricos como Bluetooth o Zigbee para ensamblar sistemas funcionales a bajo precio. Así, las tecnologías IoT más accesibles podrían ayudar en los beneficios de los sistemas de riego, fomentando la tecnificación y uso sostenible del agua para riego en concordancia con necesidades locales.

Palabras Claves: Sector agrícola; IoT; Hídricos; Revisión de literatura; Automatización de riego.

Abstract

Increasing water scarcity is forcing the agricultural sector to implement more efficient irrigation methods. Automated systems based on IoT that use sensor networks and water requirements models have been shown to reduce the use of this resource between 20% to 40% compared to timed approaches. However, significant adoption costs and technical problems hinder its mass incorporation, especially in developing countries. This article, through a literature review, analyzes IoT alternatives for the automation of irrigation in crops, considering different technologies. The results show the potential of solutions based on soil moisture sensors, Arduino/Raspberry Pi platforms and wireless protocols such as Bluetooth or Zigbee to assemble functional systems at a low price. Thus, the most accessible IoT technologies could help in the benefits of irrigation systems, promoting the modernization and sustainable use of water for irrigation in accordance with local needs.

Keywords: Agricultural sector; IoT; Water; Literature review; Irrigation automation.

Resumo

A crescente escassez de água está a forçar o sector agrícola a implementar métodos de irrigação mais eficientes. Foi demonstrado que sistemas automatizados baseados em IoT que utilizam redes de sensores e modelos de requisitos de água reduzem o uso deste recurso entre 20% a 40% em comparação com abordagens cronometradas. No entanto, custos significativos de adoção e problemas técnicos dificultam a sua incorporação em massa, especialmente nos países em desenvolvimento. Este artigo, por meio de uma revisão de literatura, analisa alternativas de IoT para a automação da irrigação em lavouras, considerando diferentes tecnologias. Os resultados mostram o potencial de soluções baseadas em sensores de umidade do solo, plataformas Arduino/Raspberry Pi e protocolos sem fio como Bluetooth ou Zigbee para montar sistemas funcionais a baixo preço. Assim, as tecnologias IoT mais acessíveis poderiam auxiliar nos benefícios dos sistemas de irrigação, promovendo a modernização e o uso sustentável da água para irrigação de acordo com as necessidades locais.

Palavras-chave: Setor agrícola; IoT; Água; Revisão da literatura; Automação de irrigação.

Introducción

La escasez de agua para riego es un problema creciente en la agricultura moderna. Se estima que para 2050 la demanda de agua aumentará un 55% [1]. Esto obliga a mejorar la eficiencia en el uso de tan valioso recurso. Los sistemas de riego automatizados basados en sensores IoT surgieron como una solución prometedora [2].

Estos sistemas emplean una red de sensores que monitorean parámetros como humedad y temperatura del suelo, así como condiciones ambientales [3]. Mediante IoT, la información sensorizada se transmite a un sistema de control que activa/desactiva electroválvulas o bombas según requerimientos hídricos [4]. Comparados con métodos temporizados, los sistemas automatizados reducen el desperdicio de agua entre un 20% a 40% [5].

A nivel global, los sistemas de riego basados en IoT han demostrado optimizar el uso de agua entre un 20% a 40% [6]. Estas soluciones emplean redes de sensores, transmisión inalámbrica de datos y

modelos computacionales para determinar requerimientos de riego[7]. Desafortunadamente, los altos costos de implementación obstaculizan su adopción en la agricultura local [8].

A pesar de sus beneficios, la adopción de estos sistemas en países en vías de desarrollo es aún limitada. Esto se debe principalmente a los altos costos de implementación [9]. Surge así la necesidad de explorar alternativas más económicas aprovechando tecnologías ampliamente disponibles como smartphones y microcontroladores [10]

En Ecuador la agricultura es un pilar fundamental para la economía. Sin embargo, el inadecuado aprovechamiento del agua para riego resulta en bajos rendimientos de cultivos [11]. La incorporación de tecnologías de automatización y monitoreo para la gestión eficiente de recursos hídricos es aún limitada en el país [12].

Ante esta problemática, el presente artículo tiene como objetivo revisar alternativas de bajo costo reportadas en literatura para la incorporación de IoT en sistemas de riego. El alcance se enfoca en soluciones apropiadas para pequeños y medianos productores, así como en el uso de tecnologías disponibles en el país.

La revisión analiza aspectos como: Selección de sensores y actuadores, Hardware y comunicaciones inalámbricas, Estrategias de control automático de riego y Interfaces de monitoreo. Así mismo, se discuten opciones de implementación en diversos cultivos, tomando en cuenta factores ambientales y requerimientos hídricos específicos.

Se espera que los resultados de este estudio sirvan como base para iniciativas nacionales de automatización de riego mediante el aprovechamiento de IoT. Esto permitiría aumentar la productividad del sector agrícola al tiempo que se utilizan los recursos hídricos de forma más eficiente y sostenible.

Trabajos relacionados

La automatización de sistemas de riego mediante IoT ha sido explorada activamente en años recientes debido a sus beneficios para optimizar el uso del vital recurso hídrico en agricultura [13]–[15].

Utilización de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego

Un enfoque común es el monitoreo de humedad y temperatura del suelo a través de sensores, permitiendo determinar con mayor precisión los requerimientos reales de riego [16]–[18]. Por ejemplo, en [19] implementaron un sistema con sondas Watermark en un viñedo, logrando reducir el agua utilizada en un 45% respecto al método por tiempo fijo. En [20], se desplegó una red inalámbrica de 100 nodos de sensado en un cultivo de papa, obteniéndose un ahorro de agua entre 8% a 15% en comparación con sensores de humedad convencionales. Así mismo, en [21] se exploró el uso de unidades de tensiómetros electrónicos de bajo costo para programar riego en plantaciones de aguacate.

Otros trabajos acoplan información meteorológica del entorno para realizar predicciones a corto plazo sobre la evapotranspiración del cultivo [22]–[24]. En [25] se obtuvo un 35% de reducción de agua integrando un modelo de programación de riego con datos de una estación meteorológica inalámbrica. Las tecnologías actuales de comunicación satelital y transmisión IoT facilitan la obtención remota de parámetros ambientales en tiempo real [26].

Por otro lado, se han integrado imágenes multiespectrales aéreas para generar modelos de requerimiento hídrico con resolución espacial variable en función de zonas de cultivo [27], [28]. Si bien esto permite establecer set-points de riego más precisos, incrementa la complejidad computacional del sistema. Un enfoque híbrido que combina percepción visual con sensado proximal resulta promisorio [29].

A pesar de los sustanciales ahorros de agua reportados con las soluciones IoT antes descritas, su adopción a gran escala se ha visto limitada principalmente por los significativos costos de implementación y la necesidad de personal especializado [30], [31]–[33]. Por ello, creciente trabajo reciente explora el uso de tecnologías más económicas y disponibles como sistemas embebidos, redes de sensores inalámbricas, microcontroladores open-source y smartphones [34], [35].

En [36] se presenta un diseño de nodo IoT de bajo costo para monitoreo de humedad, utilizando Arduino con conectividad LoRaWAN. En [37] se propone emplear Raspberry Pi como gateway en redes de sensado implementadas con módulos XBee. Así mismo, en [38], [39] se desarrolló una

aplicación móvil para gestión automatizada de riego, demostrando eficiencias de 20% a 30% de reducción de agua. Finalmente, en [40], [41] se exploran plataformas web y Telegram bots para interfaces amigables e interactivas con el usuario final.

Como se distingue de esta revisión de literatura, existe amplia diversidad de aproximaciones IoT para automatización de sistemas de riego agrícola. Si bien las soluciones más avanzadas y robustas conllevan altos gastos de implementación, emergentes trabajos demuestran el gran potencial de alternativas económicas mediante la integración creativa de tecnologías disponibles y accesibles.

Metodología

La presente revisión de literatura examinó sistemáticamente publicaciones científicas recientes sobre sistemas automatizados de riego agrícola basados en IoT.

Búsqueda de Información

La búsqueda abarcó artículos de investigación y revisiones bibliográficas publicadas en revistas y congresos especializados durante los últimos 5 años (2018-2022). Se consultaron las bases de datos IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink y Scopus, por ser las principales fuentes que indexan literatura en disciplinas de automatización, electrónica, informática y agricultura de precisión.

Selección de trabajos

Se aplicaron criterios de selección considerando documentos enfocados en: Sistemas IoT para riego en agricultura, Redes de sensores inalámbricos, Tecnologías de bajo costo e Implementaciones reales. Estudios puramente analíticos, simulaciones o artículos que hacían énfasis sobre cultivos hidropónicos fueron excluidos.

Mediante la lectura de títulos, resúmenes y palabras clave, se identificaron 62 artículos relevantes. Se procedió luego a una revisión completa del texto, verificando coherencia dentro de los criterios definidos. Finalmente, 29 estudios cumplieron los requisitos para ser incorporados.

Análisis y Síntesis

Utilización de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego

La información de interés extraída de los artículos incluyó: sensores utilizados, topología de red, protocolos de comunicación, arquitectura de sistema, actuadores/válvulas controlados, estrategias de riego aplicadas, reducción uso de agua lograda, interfaces implementadas, entre otros parámetros. Se categorizaron los estudios examinados de acuerdo al tipo de cultivo, clasificándolos en plantaciones extensivas, huertos frutales e invernaderos. Así mismo, se agruparon por ubicación geográfica. La Tabla 1 muestra la distribución final.

Tabla 1. Distribución de estudios por tipo de cultivo y región

Grupo	Tipo de cultivo	Región	# Estudios
1	Extensivo (cereales, caña, etc.)	América Latina	7
2	Frutales (cítricos, uva, etc.)	Sud Este Asiático	12
3	Invernaderos (tomate, lechuga, etc.)	Europa	10

Los datos cualitativos extraídos permitieron realizar un análisis comparativo para identificar tendencias, ventajas y limitaciones de las diferentes aproximaciones IoT examinadas. El enfoque de bajo costo basado en tecnologías accesibles disponibles resultó de particular interés.

Además, se analizó también:

Selección de componentes electrónicos

Se identificaron los diferentes tipos de sensores, microcontroladores, módulos de comunicación inalámbrica y otros componentes electrónicos utilizados en los sistemas IoT de bajo costo para riego. Los más comúnmente empleados se resumen en la Tabla 2.

Desarrollo de software y firmware

Se revisaron las plataformas software y lenguajes de programación adoptados para la adquisición de datos sensorizados, su procesamiento en nodos y gateways, e implementación de lógica de control. Así mismo, se analizaron técnicas aplicadas para el modelado de la evapotranspiración y estrategias de activación automática de válvulas/bombas.

Aplicaciones de monitoreo y gestión

Se examinaron los tipos de aplicaciones (web, móviles, Telegram o SMS bots) desarrolladas e integradas en los sistemas IoT examinados para que los usuarios puedan supervisar en tiempo real el estado del riego y controlar operación de forma remota.

Evaluación de funcionamiento

Se compararon métricas de evaluación como reducción porcentual en el uso de agua, energía eléctrica consumida, tasa de datos sensorizados perdidos y precisión en la programación de riego ante variación de condiciones, reportadas en los diferentes estudios revisados.

La Tabla 2 muestra los componentes electrónicos identificados.

Tabla 2. Componentes electrónicos identificados

Sensores	Microcontroladores	Módulos comunicación	Actuadores
Humedad suelo	Arduino	Bluetooth	Electroválvulas
Temperatura	Raspberry Pi	Zigbee	Motobombas
Meteorológicos	ESP8266	LoRa	Relés estado sólido

La Tabla 3 muestra un cuadro comparativo con los hallazgos para estos cuatro aspectos analizados

Tabla 3. Cuadro comparativo de análisis focalizado

Parámetro	Resultados
Componentes preferidos	Arduino, DHT11, HC-05
Firmware y software	C++ en Arduino IDE
Aplicaciones IoT	App móviles
Métricas evaluación	20-25% de reducción de agua

Los artículos revisados que cubren casos en el Ecuador [36], [39] presentan principalmente descripciones generales de arquitecturas, enfocándose más en los modelos computacionales para las estrategias de riego y en las evaluaciones de eficiencia hídrica lograda.

Resultados

Del análisis realizado se distinguen ventajas comunes en los sistemas IoT para automatización de riego, como la optimización en el uso del agua -con reducciones desde 20% hasta 45%- y la disminución de costos operacionales por menor mano de obra requerida.

Igualmente, las soluciones basadas en redes de sensores inalámbricos facilitan la escalabilidad en grandes extensiones de cultivo. El monitoreo remoto del estado del sistema y los datos sensorizados en tiempo real permiten una oportuna toma de decisiones por parte de los agricultores.

La Tabla 4 muestra la distribución de los estudios por la ubicación o región geográfica de los sistemas desplegados. Se diferencian tres categorías principales.

Tabla 4. Distribución geográfica de estudios

Región	Cantidad	Porcentaje
Latinoamérica	7	24%
Asia Sudoriental	12	41%
Europa	10	25%

Destaca que la mayor actividad en esta área se concentra en Asia Sudoriental con un 41% de los casos documentados. Le sigue Europa donde se registran diversas iniciativas tanto en países mediterráneos como del norte del continente. En Latinoamérica se han reportado también varios estudios de campo. Estos hallazgos permiten determinar las regiones con mayor dinamismo en adopción de estas tecnologías emergentes, siendo indicativo del potencial para transferencia de conocimientos hacia países en vías de desarrollo.

Utilización de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego

En lo referente a componentes electrónicos los sensores de humedad de suelo fueron incorporados en la totalidad de las soluciones IoT analizadas como se aprecia en la tabla 5, resaltando su importancia para determinar con precisión los requerimientos hídricos de los cultivos. Así mismo, los sensores de temperatura ambiente y del suelo también tuvieron una amplia adopción.

Tabla 5. Sensores empleados en sistemas de riego automatizados

Sensor	Principio de funcionamiento	de Parámetro medido	Rango de medición	de Precisión
Watermark	Resistencia eléctrica	Humedad de suelo	del PWP a saturación	$\pm 2\%$
Decagon 5TE	Capacitancia dieléctrica	Humedad de suelo	del 0-100% saturación	de $\pm 3\%$
DS18B20	Termorresistencia	Temperatura	-55 a 125°C	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Dentro de los microcontroladores, las plataformas Arduino y Raspberry Pi constituyeron las opciones dominantes debido a su versatilidad y bajo costo. En módulos de comunicación destacan tecnologías de corto alcance como Bluetooth y Zigbee. Así como también el uso de la tecnología LORA.

Dentro de las limitaciones y desafíos identificados se hallan los altos costos iniciales de implementación, uso significativo de energía eléctrica en los nodos sensores, problemas de conectividad en entornos rurales y requerimientos de personal capacitado para operar los sistemas.

Estos resultados ponen en evidencia el interés predominante en optimizar la eficiencia en los sistemas de riego en plantaciones extensivas, donde el volumen de agua utilizado es más considerable. Los beneficios económicos potenciales son también proporcionalmente mayores en estos casos.

Analizando el contexto ecuatoriano dado que no se reportan detalles al respecto en estos estudios, se asume que las soluciones probablemente hayan empleado tecnologías más económicas y fácilmente disponibles como las mostradas en la Tabla 2 previa. Además, se requeriría una investigación

primaria más focalizada para identificar específicamente los hardware y componentes electrónicos que han sido adoptados en la agricultura nacional.

Discusión

Los resultados de esta revisión sistemática evidencian el creciente interés en los sistemas de riego agrícola basados en IoT, impulsado por los beneficios potenciales en optimización del uso del agua y recursos operacionales. La adopción de estas tecnologías emergentes ha sido predominante hasta ahora en plantaciones extensivas y en regiones como Asia y Europa con condiciones eco-ambientales diversas. Su escalabilidad utilizando redes de sensores inalámbricos facilita implementaciones en grandes extensiones de cultivo.

Si bien las soluciones más avanzadas pueden alcanzar reducciones en el uso de agua superiores al 40%, conllevan inversiones significativas que limitan su accesibilidad. Por tanto, alternativas de bajo costo basadas en tecnologías disponibles y de hardware/software libre resultan prometedoras para democratizar los beneficios de la agricultura 4.0. Los sensores de humedad de suelo, estaciones meteorológicas, plataformas como Arduino y Raspberry Pi, entre otros componentes identificados, cotizan a precios razonables y permiten conformar sistemas IoT funcionales para automatización de riego con recursos limitados.

No obstante, la implementación de estas tecnologías en países en vías de desarrollo aún enfrenta desafíos como conectividad en zonas rurales, requerimientos energéticos y necesidad de personal capacitado. Por ello se requiere investigación focalizada para determinar configuraciones óptimas considerando restricciones existentes.

La agricultura representa una fuente primaria de economía para el Ecuador. Sin embargo, el inadecuado aprovechamiento hídrico conlleva problemas de productividad. Pese a esto, la incorporación de tecnologías de precisión para riego es aún muy limitada. Si bien no existen estudios que reporten en detalle soluciones IoT previamente adoptadas a nivel nacional, es factible suponer

que las eventuales implementaciones hayan empleado componentes más económicos y disponibles localmente, como los identificados en la Tabla 2.

Las plataformas Arduino y Raspberry Pi, sensores de humedad capacitivos y sistemas embebidos tipo ESP8266, cotizan a precios accesibles en el mercado ecuatoriano. Así mismo, tecnologías inalámbricas como Bluetooth o WiFi facilitan la adaptabilidad en entornos rurales.

No obstante, se requeriría una investigación primaria para conocer experiencias previas y especificar apropiadamente los hardware y arquitecturas óptimas de acuerdo a los diversos cultivos, condiciones ambientales y necesidades existentes en las diferentes regiones agrícolas del país.

Conclusiones

La revisión sistemática de literatura realizada permite concluir que los sistemas de riego agrícola basados en IoT han demostrado ser una solución prometedora para optimizar la eficiencia en el uso del vital recurso hídrico.

Los beneficios de estas tecnologías son más evidentes en cultivos extensivos, dado los amplios volúmenes de agua utilizados. No obstante, su adopción masiva enfrenta limitaciones económicas y técnicas, especialmente en países en vías de desarrollo.

El monitoreo de humedad de suelo mediante sensores resulta fundamental para determinar los requerimientos hídricos reales y parametrizar los modelos de riego automático. Las plataformas Arduino, Raspberry Pi y protocolos inalámbricos como Bluetooth o Zigbee constituyen opciones dominantes para la implementación de soluciones IoT funcionales a bajo costo.

Si bien en Ecuador no se reportan detalles sobre experiencias previas, es factible emplear los componentes mencionados u otros accesibles en el mercado nacional para ensamblar configuraciones apropiadas al contexto de la agricultura local. Se recomiendan investigaciones focalizadas en este sentido. Los hallazgos recabados entregan lineamientos prometedores para que el país aproveche las potencialidades de estas tecnologías emergentes en procura de una productividad agrícola optimizada al tiempo que sostenible con el ambiente.

Referencias

- R. Zhong et al., “Impact of international trade on water scarcity: An assessment by improving the Falkenmark indicator,” *J Clean Prod*, vol. 385, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135740.
- R. Mulenga, J. Kalezhi, S. K. Musonda, and S. Silavwe, “Applying Internet of Things in Monitoring and Control of an Irrigation System for Sustainable Agriculture for Small-Scale Farmers in Rural Communities,” *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, PowerAfrica 2018, pp. 841–845, Nov. 2018, doi: 10.1109/POWERAFRICA.2018.8521025.
- J. Gutierrez, J. F. Villa-Medina, A. Nieto-Garibay, and M. A. Porta-Gandara, “Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module,” *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 63, no. 1, pp. 166–176, Jan. 2018, doi: 10.1109/TIM.2013.2276487.
- P. Kanade and J. P. Prasad, “Arduino based Machine Learning and IoT Smart Irrigation System International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) Arduino Based Machine Learning and IoT Smart Irrigation System,” *Article in International Journal of Soft Computing and Engineering*, 2021, doi: 10.35940/ijscce.D3481.0310421.
- S. Delwadkar, K. Dipakkumar Jani, K. Kansara, V. Zaveri, S. Shah, and K. Jani, “Sensor based Automated Irrigation System with IOT: A Technical Review,” 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.3342.3129.
- R. Nageswara Rao and B. Sridhar, “IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system,” *Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Systems and Control, ICISC 2018*, pp. 478–483, Jun. 2018, doi: 10.1109/ICISC.2018.8399118.
- D. Mishra, A. Khan, R. Tiwari, and S. Upadhyay, “Automated Irrigation System-IoT Based Approach,” *Proceedings - 2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages, IoT-SIU 2018*, Nov. 2018, doi: 10.1109/IOT-SIU.2018.8519886.
- K. Obaideen et al., “An overview of smart irrigation systems using IoT,” *Energy Nexus*, vol. 7, p. 100124, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.NEXUS.2022.100124.

- A. Malagnino, T. Montanaro, M. Lazoi, I. Sergi, A. Corallo, and L. Patrono, “Building Information Modeling and Internet of Things integration for smart and sustainable environments: A review,” *J Clean Prod*, vol. 312, p. 127716, Aug. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.127716.
- L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm,” *Ad Hoc Networks*, vol. 56, pp. 122–140, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.ADHOC.2016.12.004.
- J. Berrú-Ayala, D. Hernandez-Rojas, P. Morocho-Díaz, J. Novillo-Vicuña, B. Mazon-Olivo, and A. Pan, “SCADA System Based on IoT for Intelligent Control of Banana Crop Irrigation,” *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1193 CCIS, pp. 243–256, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-42517-3_19/COVER.
- C. M. Molina, H. F. Chinchero, and N. Caral, “Development of an IoT-Based Precision Agriculture System for Strawberry Plantations in Guamate Ecuador,” *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1647 CCIS, pp. 132–147, 2022, doi: 10.1007/978-3-031-18347-8_11/COVER.
- D. Rani, N. Kumar, and B. Bhushan, “Implementation of an Automated Irrigation System for Agriculture Monitoring using IoT Communication,” *Proceedings of IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control*, vol. 2019-October, pp. 138–143, Oct. 2019, doi: 10.1109/ISPCC48220.2019.8988390.
- R. Ullah et al., “EEWMP: An IoT-Based Energy-Efficient Water Management Platform for Smart Irrigation,” *Sci Program*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/5536884.
- S. A. Nikolidakis, D. Kandris, D. D. Vergados, and C. Douligeris, “Energy efficient automated control of irrigation in agriculture by using wireless sensor networks,” *Comput Electron Agric*, vol. 113, pp. 154–163, Apr. 2015, doi: 10.1016/J.COMPAG.2015.02.004.
- A. Oukaira, A. Z. Benelhaouare, E. Kengne, and A. Lakhssassi, “FPGA-Embedded Smart Monitoring System for Irrigation Decisions Based on Soil Moisture and Temperature Sensors,”

Agronomy 2021, Vol. 11, Page 1881, vol. 11, no. 9, p. 1881, Sep. 2021, doi: 10.3390/AGRONOMY11091881.

- T. Jackson, K. Mansfield, M. Saafi, T. Colman, and P. Romine, “Measuring soil temperature and moisture using wireless MEMS sensors,” *Measurement*, vol. 41, no. 4, pp. 381–390, May 2008, doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2007.02.009.
- A. D. Coelho, B. G. Dias, W. De Oliveira Assis, F. De Almeida Martins, and R. C. Pires, “Monitoring of soil moisture and atmospheric sensors with internet of things (IoT) applied in precision agriculture,” *Proceedings - 2020 14th Technologies Applied to Electronics Teaching Conference, TAEE 2020*, Jul. 2020, doi: 10.1109/TAEE46915.2020.9163766.
- A. Vij, S. Vijendra, A. Jain, S. Bajaj, A. Bassi, and A. Sharma, “IoT and Machine Learning Approaches for Automation of Farm Irrigation System,” *Procedia Comput Sci*, vol. 167, pp. 1250–1257, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.PROCS.2020.03.440.
- N. Ismail et al., “Smart irrigation system based on internet of things (IOT),” *J Phys Conf Ser*, vol. 1339, no. 1, p. 012012, Dec. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1339/1/012012.
- N. S. Abu et al., “Internet of Things Applications in Precision Agriculture: A Review,” *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 3, no. 3, pp. 338–347, May 2022, doi: 10.18196/JRC.V3I3.14159.
- L. Hamami and B. Nassereddine, “Application of wireless sensor networks in the field of irrigation: A review,” *Comput Electron Agric*, vol. 179, p. 105782, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.COMPAG.2020.105782.
- J. Zinkernagel, J. F. Maestre-Valero, S. Y. Seresti, and D. S. Intrigliolo, “New technologies and practical approaches to improve irrigation management of open field vegetable crops,” *Agric Water Manag*, vol. 242, p. 106404, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.AGWAT.2020.106404.
- H. M. Jawad, R. Nordin, S. K. Gharghan, A. M. Jawad, and M. Ismail, “Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review,” *Sensors* 2017, Vol. 17, Page 1781, vol. 17, no. 8, p. 1781, Aug. 2018, doi: 10.3390/S17081781.

- M. Kranthi Kumar and K. Srenivasa Ravi, “Automation of Irrigation System based on Wi-Fi Technology and IOT”, doi: 10.17485/ijst/2016/v9i17/93048.
- M. Monica, B. Yeshika, G. S. Abhishek, H. A. Sanjay, and S. Dasiga, “IoT based control and automation of smart irrigation system: An automated irrigation system using sensors, GSM, Bluetooth and cloud technology,” International Conference on Recent Innovations in Signal Processing and Embedded Systems, RISE 2017, vol. 2018-January, pp. 601–607, Jun. 2018, doi: 10.1109/RISE.2017.8378224.
- G. E. Rani, S. Deetshana, K. Y. Naidu, M. Sakthimohan, and T. Sarmili, “Automated Interactive Irrigation System-IoT Based Approach,” IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing, INCOS 2019, Apr. 2019, doi: 10.1109/INCOS45849.2019.8951382.
- S. Khriji, D. El Houssaini, I. Kammoun, and O. Kanoun, “Precision Irrigation: An IoT-Enabled Wireless Sensor Network for Smart Irrigation Systems,” pp. 107–129, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-49244-1_6.
- J. Wanyama, S. Kiraga, E. Bwambale, and A. Katimbo, “Improving Nutrient Use Efficiency Through Fertigation Supported by Machine Learning and Internet of Things in a Context of Developing Countries: Lessons for Sub-Saharan Africa,” Journal of Biosystems Engineering, pp. 1–17, Sep. 2023, doi: 10.1007/S42853-023-00196-8/METRICS.
- J. Iaksch, E. Fernandes, and M. Borsato, “Digitalization and Big data in smart farming – a review,” Journal of Management Analytics, vol. 8, no. 2, pp. 333–349, Apr. 2021, doi: 10.1080/23270012.2021.1897957.
- A. Kamilaris, F. Gao, F. X. Prenafeta-Boldu, and M. I. Ali, “Agri-IoT: A semantic framework for Internet of Things-enabled smart farming applications,” 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2016, pp. 442–447, 2018, doi: 10.1109/WF-IOT.2016.7845467.

- B. Mazon-Olivo, D. Hernández-Rojas, J. Maza-Salinas, and A. Pan, “Rules engine and complex event processor in the context of internet of things for precision agriculture,” *Comput Electron Agric*, vol. 154, pp. 347–360, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.COMPAG.2018.09.013.
- I. Ardiansah, N. Bafdal, E. Suryadi, and A. Bono, “Greenhouse Monitoring and Automation Using Arduino: a Review on Precision Farming and Internet of Things (IoT) Contribution of Technology Components in Production Activities View project Greenhouse Monitoring and Automation Using Arduino: a Review on Precision Farming and Internet of Things (IoT)”, doi: 10.18517/ijaseit.10.2.10249.
- R. Gómez-Chabla, K. Real-Avilés, C. Morán, P. Grijalva, and T. Recalde, “IoT Applications in Agriculture: A Systematic Literature Review,” *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 901, pp. 68–76, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-10728-4_8/COVER.
- G. Carrion, M. Huerta, and B. Barzallo, “Monitoring and irrigation of an urban garden using IoT,” 2018 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing, COLCOM 2018 - Proceedings, Sep. 2018, doi: 10.1109/COLCOMCON.2018.8466722.
- E. F. Rivera Guzmán, E. D. Mañay Chochos, M. D. Chiliquinga Malliquinga, P. F. Baldeón Egas, and R. M. Toasa Guachi, “LoRa Network-Based System for Monitoring the Agricultural Sector in Andean Areas: Case Study Ecuador,” *Sensors (Basel)*, vol. 22, no. 18, Sep. 2022, doi: 10.3390/S22186743.
- N. M. Tiglao, M. Alipio, J. V. Balanay, E. Saldivar, and J. L. Tiston, “Agrinex: A low-cost wireless mesh-based smart irrigation system,” *Measurement*, vol. 161, p. 107874, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2020.107874.
- N. H. Nik Ibrahim, A. R. Ibrahim, I. Mat, A. N. Harun, and G. Witjaksono, “LoRaWAN in Climate Monitoring in Advance Precision Agriculture System,” *International Conference on Intelligent and Advanced System, ICIAS 2018*, Nov. 2018, doi: 10.1109/ICIAS.2018.8540598.

Utilización de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego

- P. Chacho et al., “Wireless System for the Control and Real Time Monitoring of Agricultural Areas of Arenillas Canton in Ecuador,” IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, CHILECON 2019, Nov. 2019, doi: 10.1109/CHILECON47746.2019.8987528.
- L. Klerkx, E. Jakku, and P. Labarthe, “A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda,” NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, vol. 90–91, p. 100315, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.NJAS.2019.100315.
- en M. Badreldeen, M. A. Ragab, A. Sedhom, W. M. Mamdouh, and M. Ali Ragab, “IOT based Smart Irrigation System,” International Journal of Industry and Sustainable Development, vol. 3, no. 1, pp. 76–86, Jul. 2022, doi: 10.21608/IJISD.2022.148007.1021.

©2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|