ABRIL 2025 VOLUMEN 1 NÚMERO 1

Ciencias e Ingeniería

PARA CIUDADANOS

Revista de investigación científica

Lima - Perú

Ciencias e Ingeniería

Volumen I-N°1 Abril 2025

Consejo Editorial

Director

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Editor, diseño y traducción

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Diagramador de texto y asistencia de diseño

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Comité Científico

Dra. Elena Rafaela Benavides Rivera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Dra. Ysabel Zevallos Parave
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
Lima-Peru

Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

El impacto del IoT en la agricultura: optimización del riego y sostenibilidad en regiones con escasez hídrica

Ing. Alem Huayta Uribe
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: alem.huaytau@unmsm.edu.pe

Ing. Brian Espejo Campos
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: brian.espejoc@unmsm.edu.pe

Resumen: El Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado la agricultura al optimizar el uso del agua en regiones con escasez hídrica. Este estudio revisa la implementación de IoT en sistemas de riego, destacando beneficios como la mejora en la eficiencia hídrica, el aumento de la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental. Mediante sensores y monitoreo en tiempo real, los agricultores pueden ajustar el riego según las necesidades específicas del cultivo, reduciendo desperdicios y costos operativos. Sin embargo, se enfrentan desafíos como la infraestructura limitada, altos costos iniciales y la necesidad de capacitación técnica. Este trabajo analiza casos prácticos en diversas regiones y discute cómo superar barreras económicas y técnicas para la adopción masiva de IoT, contribuyendo al desarrollo de una agricultura sostenible.

Palabras clave: IoT/ Agricultura/ Sistemas de riego/ Escasez hídrica/ Sostenibilidad

Abstract : The Internet of Things (IoT) has revolutionized agriculture by optimizing water usage in water-scarce regions. This study reviews IoT implementation in irrigation systems, highlighting benefits such as improved water efficiency, increased agricultural productivity, and environmental sustainability. Through sensors and real-time monitoring, farmers can adjust irrigation to crop-specific needs, reducing waste and operational costs. However, challenges such as limited infrastructure, high initial costs, and the need for technical training persist. This paper analyzes practical cases from various regions and discusses how to overcome economic and technical barriers for widespread IoT adoption, contributing to the development of sustainable agriculture.

Keywords: IoT/ Agriculture/ Irrigation systems/ Water scarcity/ Sustainability

Résumé: L'Internet des Objets (IoT) a révolutionné l'agriculture en optimisant l'utilisation de l'eau dans les régions où elle est rare. Cette étude examine la mise en œuvre de l'IoT dans les systèmes d'irrigation, mettant en avant des avantages tels qu'une meilleure efficacité de l'eau, une productivité agricole accrue et une durabilité environnementale. Grâce à des capteurs et à une surveillance en temps réel, les agriculteurs peuvent ajuster l'irrigation aux besoins spécifiques des cultures, réduisant ainsi les gaspillages et les coûts opérationnels. Cependant, des défis tels qu'une infrastructure limitée, des coûts initiaux élevés et le besoin de formation technique subsistent. Ce

document analyse des cas pratiques dans différentes régions et discute des moyens de surmonter les obstacles économiques et techniques pour une adoption généralisée de l'IoT, contribuant ainsi au développement d'une agriculture durable.

Mots-clés : IoT/ Agriculture/ Systèmes d'irrigation/ Pénurie d'eau/ Durabilité

1. Introducción

La agricultura enfrenta desafíos críticos relacionados con el uso eficiente de los recursos hídricos, especialmente en regiones con escasez de agua. En este contexto, las innovaciones tecnológicas desempeñan un papel crucial para abordar estas limitaciones. El Internet de las Cosas (IoT) ha emergido como una solución prometedora para mejorar la gestión de recursos en el sector agrícola, específicamente en los sistemas de riego. Esta tecnología permite un monitoreo en tiempo real y una toma de decisiones precisa basada en datos, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad y productividad de las prácticas agrícolas.

A pesar de los beneficios potenciales del IoT en la agricultura, su implementación enfrenta barreras como el costo inicial elevado, la falta de infraestructura tecnológica en áreas rurales y la necesidad de formación técnica. Además, las prácticas tradicionales de riego continúan predominando en muchas regiones, lo que lleva a un uso ineficiente del agua, baja productividad de los cultivos y un impacto ambiental significativo. Esto resalta la necesidad de explorar soluciones innovadoras y accesibles que puedan superar estos desafíos.

Estudios recientes han demostrado que la adopción de tecnologías IoT en el riego agrícola puede reducir el desperdicio de agua hasta en un 40%, aumentar la eficiencia operativa y mejorar la calidad de los cultivos. Casos prácticos han documentado mejoras significativas en la productividad en regiones semiáridas y con recursos hídricos limitados, destacando el papel del IoT en transformar la agricultura en un sector más sostenible y resiliente.

Esta revisión sistemática de literatura (RSL) tiene como objetivo analizar la integración del IoT en los sistemas de riego agrícola, identificando sus beneficios, desafíos y barreras para su adopción. Además, busca proporcionar una visión integral de las aplicaciones prácticas y las lecciones aprendidas de casos documentados en diferentes contextos agrícolas. Este análisis pretende contribuir al desarrollo de estrategias efectivas para la implementación del IoT en el sector agrícola.

El contenido de este documento se estructura en cinco secciones principales. Primero, se presenta el marco teórico y metodológico, detallando las bases de la RSL. Luego, se exponen los resultados obtenidos del análisis de los artículos seleccionados. La discusión aborda los hallazgos clave, explorando su relevancia e implicaciones. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, seguidas de una lista exhaustiva de referencias utilizadas.

Pregunta General

P.G. ¿Cómo impacta el uso de IOT en el riego agrícola, en comparación con los sistemas tradicionales?

Preguntas específicas

P.E.1. ¿Qué impacto tiene el mal manejo del riego en la productividad de los cultivos?

P.E.2. ¿Qué es el Internet de las Cosas (IOT) y cómo se aplica a la agricultura?

P.E.3. ¿Cuáles son los principales beneficios que la tecnología IOT aporta al sistema de riego agrícola?

P.E.4. ¿Cómo mejora el uso de IOT la productividad en regiones con escasez hídrica?

P.E.5. ¿Cuáles son los principales desafíos técnicos y económicos para la adopción de IOT en la agricultura?

Objetivo general

La presente revisión tiene como principal contribución:

O.G. Analizar cómo impacta la integración del IOT en el riego agrícola en comparación con los sistemas tradicionales.

Objetivo específico

O.E.1. Analizar el impacto del mal manejo del riego en la productividad de los cultivos.

0.E.2. Explicar qué es el IOT y cómo se aplica al riego en la agricultura.

0.E.3. Identificar los beneficios del IOT en la optimización del riego agrícola.

0.E.4. Evaluar casos donde el IOT ha mejorado la productividad en regiones con escasez hídrica.

0.E.5. Examinar los desafíos técnicos y económicos para adoptar IOT en la agricultura

2. Materiales y Métodos

2.1. Pregunta PICOC

La metodología PICOC se utiliza comúnmente para organizar los criterios de inclusión en los informes de revisiones sistemáticas de literatura. Es esencial definir con claridad la población, la intervención, la comparación y los resultados esperados, ya que esto facilita la recopilación de información relevante (Page et al., 2021).

Se formuló la siguiente pregunta para la revisión sistemática de la literatura: ¿Cómo impacta el uso de IOT en el riego agrícola, en comparación con los sistemas tradicionales?

2.2. Palabras clave especializadas pertinentes

Las palabras clave se alinean con lo planteado en la pregunta "PICOC" y se organizan siguiendo la estructura de esta metodología. Dicha estructura se describe de la siguiente forma:

Tabla N°1: Estrategia del acrónimo PICOC

Código	Palabras clave en español	Palabras clave en inglés
P	Agricultores, escasez de agua	*farmers, water shortage*
I	Tecnologías IoT	*IoT Technologies*
C	Riego tradicional	*Traditional irrigation*
O	Optimización de agua, aumento productividad	*Water optimization, increased productivity*
C	Regiones con recursos hídricos limitados	*Regions with limited water resources*

Fuente: Elaboración propia

2.3. Ecuación de búsqueda

En este punto se analizaron las palabras claves para iniciar la realización de la ecuación de búsqueda y facilitar el alcance de las publicaciones pertinentes al tema investigado. La ecuación de búsqueda para la RSL es la siguiente:

TITLE-ABS-KEY ("IoT" OR "Internet of Things") AND ("agriculture" OR "farming") AND ("irrigation system" OR "water management") AND ("productivity" OR "crop yield") AND ("water scarcity" OR "drought-prone regions") OR ("technical challenges" OR "economic barriers" OR "adoption issues") AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

2.4. Criterios de inclusión y exclusión de los artículos científicos

Los criterios cumplen un papel fundamental al asegurar la coherencia, pertinencia y validez de un estudio, al tiempo que brindan protección a los participantes involucrados. Establecer criterios definidos de manera precisa (tabla 2) contribuye a mejorar la calidad de la investigación, facilitando la interpretación y aplicación generalizada de los resultados obtenidos. Los criterios seleccionados para la investigación son los siguientes:

Tabla N°2: Criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
i1. Estudios sobre el impacto del riego en la productividad de cultivos.	e1. Fuentes que no traten sobre riego o productividad agrícola.
i2. Artículos sobre IOT aplicado al riego agrícola.	e2. Fuentes sobre IOT en otros sectores.
i3. Estudios que detallen beneficios del IOT en optimización de riego y ahorro de agua.	e3. Fuentes sin evidencia concreta de beneficios del IOT en riego.
i4. Casos de mejora de productividad con IOT en zonas con escasez hídrica.	e4. Fuentes sin datos sobre IOT o sin relevancia en zonas de escasez de agua.
i5. Estudios sobre barreras técnicas y económicas para adoptar IoT en agricultura.	e5. Fuentes que no aborden desafíos en agricultura o IOT.

Fuente: Elaboración propia

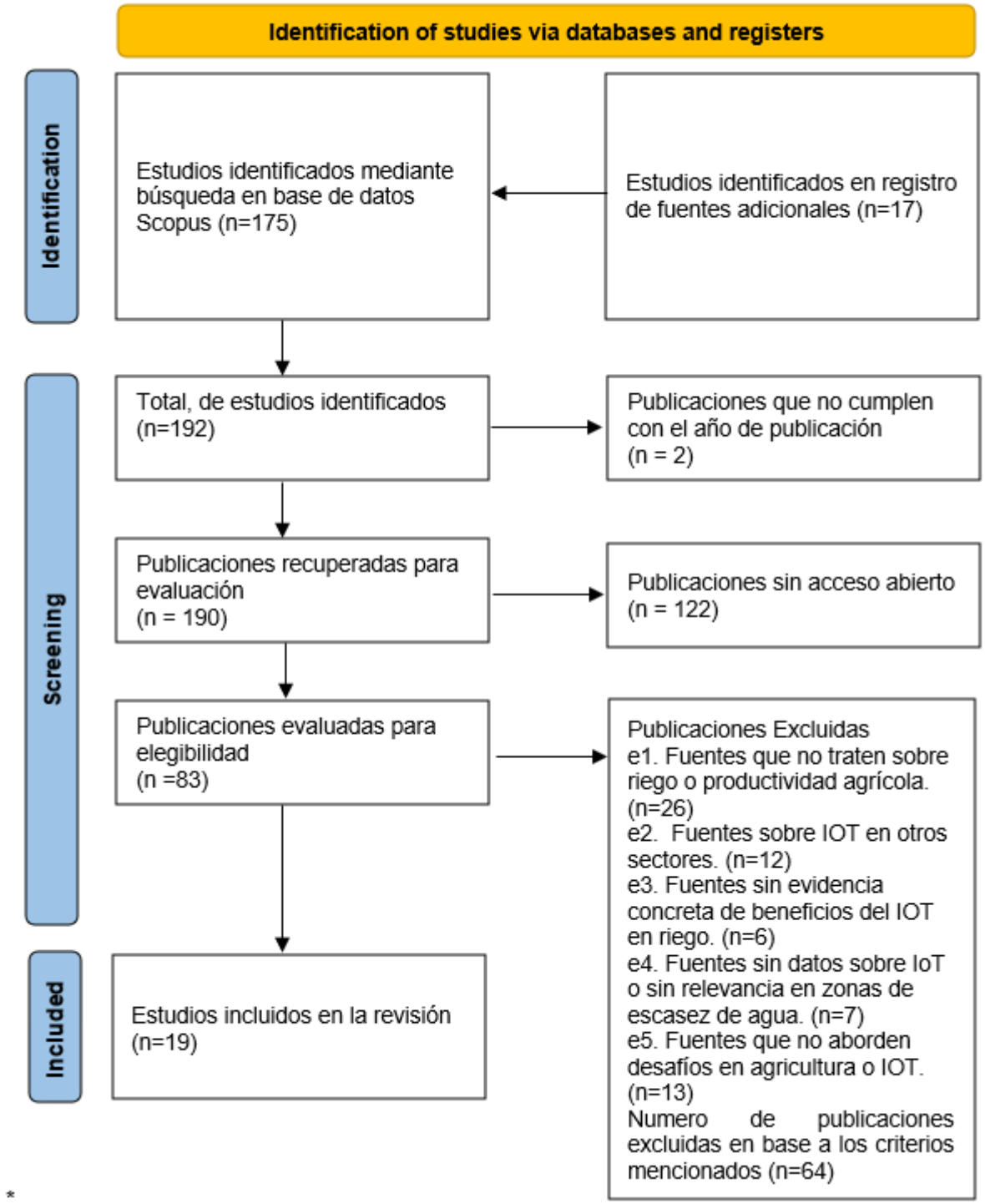
2.5. Descripción del proceso de selección

- Resultados obtenidos del proceso de búsqueda de literatura científica: La búsqueda realizada en la base de datos Scopus, empleando la ecuación establecida, arrojó un total de 175 publicaciones, que incluyen tanto artículos como revisiones sistemáticas de literatura.
- Descripción de la lógica de selección considerada: En el proceso de selección se consideran criterios básicos y fundamentales establecidos al inicio de la investigación. Estos incluyen el uso de una base de datos principal (Scopus), la consulta de otras bases complementarias para artículos adicionales (como Scielo), la exclusión de publicaciones con más de cinco años de antigüedad, aquellas con acceso restringido y aquellas que no correspondan a artículos científicos o revisiones. Adicionalmente, se establecen criterios más específicos relacionados con la inclusión y exclusión para la etapa final de selección. Estos criterios, detallados en la tabla 2, tienen como objetivo determinar el número definitivo de publicaciones que formarán parte de la revisión sistemática de la literatura (RSL) y el flujograma PRISMA.
- Descripción detallada del proceso de selección y sus resultados: El diagrama PRISMA es una herramienta muy utilizada en revisiones sistemáticas, facilitando a los autores realizar análisis exhaustivos de forma eficiente. Esto contribuye a una com-

prensión detallada del tema de investigación, ya que permite sintetizar eficazmente la evidencia relevante y aportar nuevos conocimientos en el área (Sohrabi et al., 2021). Por ello, el diagrama de flujo se elaboró siguiendo tres puntos clave en su desarrollo: identificación, filtrado e inclusión.

- Identificación: En este punto se identifican los estudios que muestra la ecuación de búsqueda formulada (n=175), asimismo, se cuenta con estudios identificados en registros de fuentes adicionales (n=17). Todo ello genera un total de estudios identificados (n=192), excluyendo las publicaciones duplicadas realizadas en otra base de datos (n=0).
- Filtrado: En base a las publicaciones identificadas (n=192), se excluyen publicaciones que no cumplen con el rango de años permitidos (n=2). Como resultado se obtienen publicaciones recuperadas para evaluación (n=190), en el cual, se excluyen aquellas publicaciones sin acceso abierto (n= 122), quedando (n= 83) para ser evaluadas en base a los criterios e1, e2, e3, e4, e5. (n=64).
- Inclusión: Es así como se consigue la cantidad de estudios incluidos en la revisión (n=19), los cuales servirán para el desarrollo del trabajo de revisión.

Figura N°1: Diagrama Prisma.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3: Aportes de artículos y revisiones seleccionados

N°	AÑO	AUTORES	TÍTULO	APORTE	PAÍS
1	2023	Abdikadir, N. M., Hassan, A. A., Abdullahi, H. O., & Rashid, R. A.	Smart irrigation system.	Desarrollan un sistema de riego inteligente basado en IoT que combina sensores para monitorear la humedad del suelo y condiciones climáticas. Proponen un enfoque automatizado para reducir el desperdicio de agua y mejorar la eficiencia del riego en cultivos. Su diseño es económico y adecuado para pequeñas explotaciones agrícolas.	India
2	2019	Al-Ali, A., Nabulsi, A. A., Mukhopadhyay, S., Awal, M. S., Fernandes, S., & Ailabouni, K.	IoT-solar energy powered smart farm irrigation system.	Presentan un sistema de riego autónomo alimentado por energía solar, controlado mediante IoT. Este sistema es ideal para áreas remotas donde la conexión eléctrica es limitada. Integran sensores para medir humedad, temperatura y radiación solar, con énfasis en la sostenibilidad.	China
3	2023	B, A., P, J., V, M., Shalini, S., & R, S. K.	Design and Implementation of a Smart Solar Irrigation System Using IoT and Machine Learning.	Proponen un sistema de riego inteligente que combina IoT y aprendizaje automático para optimizar el uso del agua. Utilizan energía solar para garantizar sostenibilidad y presentan un enfoque adaptable a diferentes condiciones climáticas y tipos de cultivo.	Francia
4	2021	Farooq, Q. U., Naqash, M. T., Ahmed, A. T., & Khawaja, B. A.	Optimization of Subsurface Smart Irrigation System for Sandy Soils of Arid Climate.	Analizan la eficiencia de un sistema de riego subterráneo optimizado con IoT para suelos arenosos en climas áridos. Demuestran cómo estas tecnologías pueden mejorar la retención de agua en el suelo y reducir la evaporación en condiciones de escasez hídrica.	Reino Unido
5	2023	Fuentes-Peñailillo, F., Ortega-Farías, S., Acevedo-Opazo, C., Rivera, M., & Araya-Alman, M.	A Smart Crop Water Stress Index-Based IoT Solution for Precision Irrigation of Wine Grape.	Describen una solución IoT para riego de precisión en viñedos basada en un índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI). Este sistema permite un riego más eficiente al responder a las necesidades exactas de las plantas, mejorando la calidad de los cultivos.	Chile
6	2021	Hamdi, M., Rehman, A., Alghamdi, A., Nizamani, M. A., Missen, M. M. S., & Memon, M. A.	Internet of Things (IoT) Based Water Irrigation System.	Diseñan un sistema IoT que permite el control remoto del riego mediante una interfaz de usuario intuitiva. Incluyen sensores para medir la humedad del suelo y el caudal de agua, con alertas automáticas para garantizar una gestión óptima del agua.	Austria
7	2024	Jaroensutasinee, K., Jaroensutasinee, M., Boonsanong, P., & Sparrow, E.	Mangosteen Yield and Fruit Quality under Regulated Irrigation with Sensors and IoT.	Evaluan cómo la implementación de sensores IoT en un sistema de riego controlado mejora tanto el rendimiento como la calidad del fruto del mangostán. Su estudio destaca cómo estas tecnologías pueden aplicarse en cultivos de alto valor comercial.	Emiratos Árabes Unidos

8	2024	Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., & Rathnayake, U.	A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies.	Realizan una revisión exhaustiva de las tecnologías IoT en la agricultura, abordando su papel en la sostenibilidad. Detallan aplicaciones en monitoreo de cultivos, manejo de agua y mejora de la productividad agrícola en diversos contextos.	Países Bajos
9	2024	Martinez, J. L. D., Salcedo, D., Mercado, T., & Quiñonez, Y.	Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual y su aplicación mediante un prototipo.	Documentan el estado actual de IoT en la agricultura, desde sensores hasta plataformas de análisis. También desarrollan un prototipo funcional que integra múltiples tecnologías IoT para mostrar su aplicabilidad en la agricultura moderna.	Portugal
10	2024	Moeti, M. N., Mokwena, S. N., & Selape, M.	Factors influencing the adoption of Internet of Things in the agricultural sector in Limpopo province.	Identifican factores técnicos, económicos y sociales que limitan la adopción de IoT en la agricultura en Sudáfrica. Su análisis incluye barreras como costos iniciales, infraestructura limitada y falta de habilidades técnicas en las zonas rurales.	Sudáfrica
11	2024	Morchid, A., Jebabra, R., Khalid, H. M., Alami, R. E., Qjidaa, H., & Jamil, M. O.	IoT-Based Smart Irrigation Management System to Enhance Agricultural Water Security using Embedded Systems, Telemetry Data, and Cloud Computing.	Proponen un sistema IoT que combina sensores, telemetría y computación en la nube para optimizar la gestión del riego. Su enfoque se centra en mejorar la seguridad hídrica, permitiendo a los agricultores tomar decisiones basadas en datos en tiempo real.	Estados Unidos
12	2024	Myeko, Z., & Rambe, P.	IoT appropriation for crop management and productivity enhancement in South Africa.	Estudian cómo el IoT ha mejorado la productividad agrícola en Sudáfrica, centrándose en la gestión de cultivos y el monitoreo remoto. Identifican beneficios como la reducción del desperdicio de agua y el aumento del rendimiento de los cultivos.	Sudáfrica
13	2024	Pérez-Baca, M. S., Sambrano-Luna, K. L., Sánchez-Ramírez, J. M., Cabana-Cáceres, M., & Castro-Vargas, C.	Design and implementation of an automated irrigation control for home plantations.	Diseñan un sistema de riego automatizado para pequeñas plantaciones domésticas, utilizando sensores para monitorear el suelo y controlar el riego. Este sistema está orientado a usuarios no expertos que buscan soluciones prácticas para cultivos urbanos.	Indonesia
14	2022	Qureshi, T., Saeed, M., Ahsan, K., Malik, A. A., Muhammad, E. S., & Touheed, N.	Smart Agriculture for Sustainable Food Security Using Internet of Things (IoT).	Destacan el papel de IoT en garantizar la seguridad alimentaria mediante el monitoreo y control de cultivos. Su enfoque incluye cómo estas tecnologías permiten prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes frente al cambio climático.	Estados Unidos

15	2023	Sadek, N., Kamal, N., & Shehata, D.	Internet of Things based smart automated indoor hydroponics and aeroponics greenhouse in Egypt.	Desarrollan un sistema IoT para invernaderos automatizados que combinan técnicas hidropónicas y aeropónicas. Su diseño permite un control preciso de las condiciones ambientales, promoviendo un uso eficiente del agua y mejorando los rendimientos.	Egipto
16	2022	Tsiropoulos, Z., Skoubris, E., Fountas, S., Gravalos, I., & Gemtos, T	Development of an Energy Efficient and Fully Autonomous Low-Cost IoT System for Irrigation Scheduling in Water-Scarce Areas Using Different Water Sources.	Diseñan un sistema IoT autónomo y eficiente en el uso de energía, ideal para áreas con escasez de agua. Este sistema combina diferentes fuentes de agua y optimiza el riego basado en datos de sensores, promoviendo la sostenibilidad.	Suiza
17	2022	Tsolakis, N., Harrington, T. S., & Srai, J. S.	Leveraging Automation and Data-driven Logistics for Sustainable Farming of High-value Crops in Emerging Economies.	Exploran cómo la automatización y los datos generados por IoT pueden mejorar la logística agrícola. Su enfoque incluye la optimización de la cadena de suministro para cultivos de alto valor en economías emergentes.	Países Bajos
18	2024	Xu, X., Patibandla, R. S. M. L., Arora, A., Al-Razgan, M., Awwad, E. M., & Nyangaresi, V. O.	An Adaptive Hybrid (1D-2D) Convolution-Based ShuffleNetV2 Mechanism for Irrigation Levels Prediction in Agricultural Fields with Smart IoTs.	Introducen un modelo híbrido basado en redes neuronales IoT para predecir niveles de riego. Este sistema mejora la eficiencia al ajustar automáticamente el riego en función de las condiciones ambientales y del suelo.	Estados Unidos
19	2023	Zeng, Y., Chen, C., & Lin, G.	Practical application of an intelligent irrigation system to rice paddies in Taiwan.	Describen un sistema inteligente aplicado a arrozales en Taiwán que monitorea y ajusta el riego automáticamente. Demuestran cómo la tecnología IoT puede integrarse en sistemas agrícolas tradicionales para aumentar la eficiencia.	Países Bajos

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

3.1. Análisis descriptivo de los artículos

Esta gráfica de dispersión muestra la relación entre los años y la cantidad de publicaciones que se realizaron, donde se puede observar lo siguiente:

Tendencia creciente: La cantidad de publicaciones ha aumentado consistentemente entre 2019 y 2024, lo que indica un crecimiento en la producción de publicaciones a lo largo de los años. Si bien el crecimiento no es de manera lineal, ya que en el 2022 hay una caída en comparación con el año 2021, el aumento podría estar asociado a un crecimiento de la productividad en publicaciones, mayor interés en el tema relacionado, o nuevas iniciativas que impulsaron la cantidad de publicaciones.

Proyección positiva: Si esta tendencia continúa, se podría esperar que el número de publicaciones siga aumentando en los años posteriores a 2024.

Variabilidad en crecimiento: Aunque los puntos no están alineados perfectamente en una línea recta, muestran un crecimiento claro, lo cual sugiere que factores como mayor interés en el tema, financiamiento, o relevancia de la investigación han podido influir en este incremento.

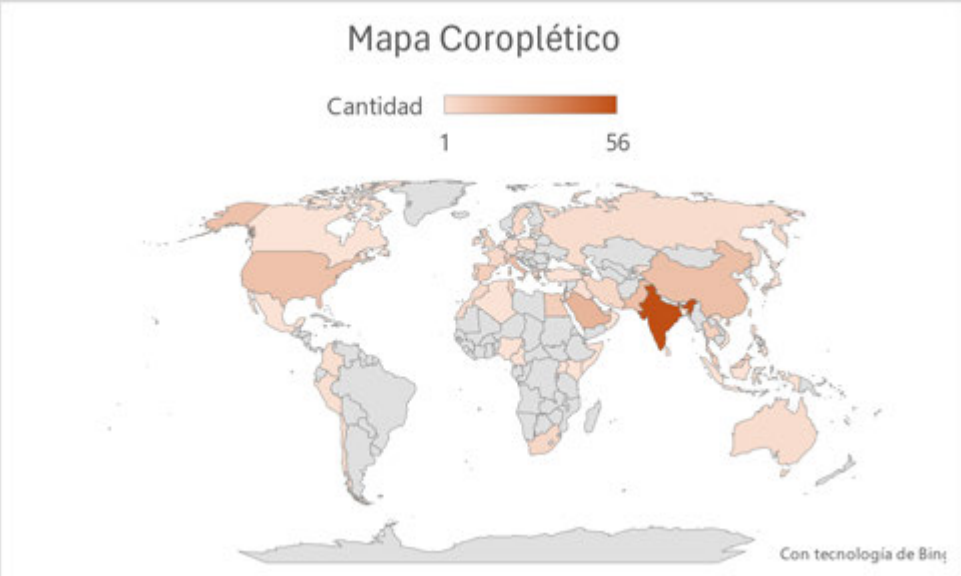
Como conclusión del análisis de la gráfica muestra un crecimiento en la cantidad de publicaciones año tras año, lo cual podría ser un indicador del creciente interés o relevancia del tema de estudio en la comunidad académica o investigativa.

Figura N°2: Número de publicaciones por año.

Fuente: Elaboración propia

La figura 3 es un mapa de calor geográfico que ilustra la distribución de datos asociados a distintos países en relación con la cantidad de artículos publicados entre los años 2019 y 2024. La representación utiliza una escala de colores donde los tonos más oscuros indican valores más altos y los tonos más claros reflejan valores más bajos. Según la leyenda, los valores oscilan entre 1 y 30. Entre los países destacados por sus tonos más oscuros se encuentran Estados Unidos, China e India, lo que representa que estas naciones tienen la mayor cantidad de artículos publicados en base al presente tema que se está analizando. En contraste, regiones como Sudamérica, África y Europa del Este muestran colores más claros, indicando valores bajos o ausencia de datos significativos en estas áreas.

Figura N°3: Mapa Coroplético



Fuente: Elaboración propia

3.2. Análisis de correlación de los artículos seleccionados

P.E.	PREGUNTA ESPECÍFICA	AUTORES
P.E.1	¿Qué impacto tiene el mal manejo del riego en la productividad de los cultivos?	(Farooq et al., 2021), (Morchid et al., 2024), (Jaroensutasinee et al., 2024), (Abdikadir et al., 2023)
P.E.2	¿Qué es el Internet de las Cosas (IOT) y cómo se aplica a la agricultura?	(Hamdi et al., 2021), (Moeti et al., 2024), (Martinez et al., 2024), (Myeko & Rambe, 2024), (Qureshi et al., 2022)
P.E.3	¿Cuáles son los principales beneficios que la tecnología IOT aporta al sistema de riego agrícola?	(Al-Ali et al., 2019), (Fuentes-Peñailillo et al., 2023), (Xu et al., 2024)
P.E.4	¿Cómo mejora el uso de IoT la productividad en regiones con escasez hídrica?	(Hamdi et al., 2021), (Tsolakis et al., 2022), (Zeng et al., 2023), (Myeko & Rambe, 2024), (Morchid et al., 2024)
P.E.5	¿Cuáles son los principales desafíos técnicos y económicos para la adopción de IOT en la agricultura?	(Moeti et al., 2024), (Martinez et al., 2024), (Qureshi et al., 2022)

3.2.1. Riego tradicional

El mal manejo del riego puede tener efectos adversos significativos en la productividad agrícola. Farooq et al. (2021) destacan que en suelos arenosos de climas áridos, la mala gestión reduce la eficiencia del uso del agua, lo que impacta negativamente en la retención hídrica y el crecimiento de los cultivos. En el caso de los arrozales, Zeng et al. (2023) subrayan que los métodos tradicionales de riego tienden a generar un uso excesivo o insuficiente de agua, disminuyendo la productividad. Por otro lado, Jaroensutasinee et al. (2024) demuestran que el riego regulado mediante sensores IoT mejora tanto el rendimiento como la calidad de los mangostanes, evidenciando los problemas del riego inadecuado.

En regiones con escasez hídrica, un mal manejo del riego puede agravar las pérdidas de agua. Tsiropoulos et al. (2022) señalan que los sistemas tradicionales no optimizan el uso de múltiples fuentes de agua, lo que afecta el rendimiento de los cultivos. Además, Fuentes-Peñailillo et al. (2023) muestran que, en los viñedos, un manejo deficiente impacta directamente en la calidad del producto final, haciéndose indispensable un control preciso basado en índices de estrés hídrico.

3.2.2. Tecnologías usadas en la agricultura

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a un sistema interconectado de dispositivos que recopilan y analizan datos en tiempo real para optimizar procesos (Kumar et al., 2024). En la agricultura, el IoT permite monitorear parámetros como humedad del suelo, clima y consumo de agua, mejorando la toma de decisiones (Qureshi et al., 2022). Hamdi et al. (2021) destacan que el IoT automatiza el riego, lo que reduce la intervención humana y aumenta la precisión en el manejo del agua.

Martinez et al. (2024) analizan un prototipo que aplica IoT en el control del riego, mostrando cómo esta tecnología facilita la transformación digital en pequeñas y medianas explotaciones. Además, Sadek et al. (2023) explican cómo el IoT se utiliza en sistemas automatizados de hidroponía y aeroponía, optimizando los recursos hídricos. Por último, Xu et al. (2024) destacan la integración de IoT con aprendizaje automático, lo que permite predicciones precisas de las necesidades hídricas de los cultivos.

3.2.3. Beneficios que la tecnología iot aporta al sistema de riego agrícola

El IoT aporta numerosos beneficios al sistema de riego, como el ahorro de agua y costos operativos. Hamdi et al. (2021) muestran que los sistemas IoT pueden reducir el desperdicio de agua hasta en un 40%. Asimismo, Morchid et al. (2024) destacan que la telemetría y la computación en la nube permiten un monitoreo continuo, optimizando los recursos hídricos.

Al-Ali et al. (2019) resaltan que los sistemas IoT impulsados por energía solar son sostenibles tanto económica como ambientalmente. Por otro lado, Jaroensutasinee et al. (2024) y Fuentes-Peñailillo et al. (2023) subrayan que estos sistemas mejoran la calidad

del agua aplicada a los cultivos, incrementando la productividad y calidad de los productos. Tsiropoulos et al. (2022) explican que el IoT permite integrar múltiples fuentes de agua, adaptándose eficientemente a condiciones de escasez.

3.2.4. Evaluar los beneficios ambientales y económicos

En regiones con escasez hídrica, el IoT mejora significativamente la productividad al optimizar el uso del agua. Tsiropoulos et al. (2022) desarrollaron un sistema IoT autónomo y eficiente en energía que reduce las pérdidas de agua y asegura una distribución uniforme. Fuentes-Peñailillo et al. (2023) implementaron una solución basada en índices de estrés hídrico, ajustando el riego según las condiciones climáticas y maximizando la producción en zonas semiáridas.

Sadek et al. (2023) aplican el IoT en invernaderos automatizados, logrando ahorros de agua de hasta un 50%, un avance crucial en áreas con recursos hídricos limitados. Morchid et al. (2024) destacan que la integración de IoT con datos climáticos en tiempo real permiten una mejor programación del riego, aumentando la eficiencia en regiones áridas. Finalmente, Al-Ali et al. (2019) y Zeng et al. (2023) señalan que los sistemas IoT impulsados por energía solar garantizan un riego sostenible en condiciones extremas.

3.2.5. Desafíos y limitaciones que enfrenta la adopción de IOT

La adopción de IoT en la agricultura enfrenta desafíos técnicos y económicos significativos. Moeti et al. (2024) y Myeko & Rambe (2024) identifican la falta de infraestructura, los altos costos iniciales y la necesidad de capacitación como barreras importantes. Xu et al. (2024) añaden que la conectividad limitada en áreas rurales dificulta la implementación de estas tecnologías, aunque proponen modelos híbridos para mitigar estos problemas.

Morchid et al. (2024) mencionan que la recopilación de datos a gran escala requiere inversiones en sensores avanzados y computación en la nube. Kumar et al. (2024) y Qureshi et al. (2022) argumentan que la sostenibilidad económica del IoT depende de subsidios gubernamentales, especialmente en países en desarrollo. Sadek et al. (2023) y Tsiropoulos et al. (2022) sugieren que integrar IoT con energía renovable puede reducir costos operativos, pero requiere un desembolso inicial elevado.

4. Discusión

La integración de IoT en la agricultura ha demostrado ser una herramienta transformadora para mejorar la eficiencia en el manejo del agua y aumentar la productividad de los cultivos. Los resultados analizados evidencian que la implementación de tecnologías IoT no solo reduce significativamente el desperdicio de agua, sino que también permite una gestión más precisa y adaptada a las necesidades específicas de cada cultivo, especialmente en regiones con escasez hídrica.

Sin embargo, la adopción masiva de IoT enfrenta barreras importantes. La falta de infraestructura tecnológica, los costos iniciales elevados y la limitada capacitación técnica en zonas rurales son desafíos recurrentes. Por ejemplo, en países en desarrollo, las inversiones necesarias para sensores, plataformas de monitoreo y energía renovable representan un obstáculo importante para pequeños agricultores.

A pesar de estas limitaciones, los casos prácticos revisados en esta investigación destacan el potencial de IoT para transformar el sector agrícola. La integración con fuentes de energía sostenible, como paneles solares, y el uso de sistemas de aprendizaje automático podrían facilitar la superación de las barreras existentes. Además, políticas de subsidios gubernamentales e iniciativas de cooperación internacional pueden jugar un papel clave en la promoción de estas tecnologías.

Finalmente, es fundamental continuar investigando cómo el IoT puede integrarse de manera eficiente en diferentes contextos agrícolas, explorando estrategias de escalabilidad y sostenibilidad. Esto permitirá que las tecnologías IoT se conviertan en una solución viable y accesible para todos los sectores agrícolas, contribuyendo a la seguridad alimentaria global y a la conservación de los recursos naturales.

5. Agradecimiento

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Marcos y al programa de Maestría en Ingeniería Industrial, por brindarnos el entorno académico, los recursos y las herramientas necesarias para desarrollar esta investigación.

Nuestro especial reconocimiento al Mg. Jorge Luis Roca Becerra, por su valiosa orientación, sugerencias y apoyo constante durante todas las etapas de este trabajo. Su experiencia y compromiso han sido fundamentales para el logro de los objetivos planteados.

Asimismo, agradecemos a nuestros compañeros de maestría y colaboradores, quienes, con sus aportes, críticas constructivas y trabajo en equipo, enriquecieron el proceso de elaboración de este artículo.

Finalmente, dedicamos este esfuerzo a nuestras familias y seres queridos, quienes nos brindaron su apoyo incondicional, paciencia y ánimo a lo largo de esta etapa académica.

A todos, nuestro más profundo agradecimiento.

6. Conclusiones

La implementación de tecnologías IoT en los sistemas de riego agrícola ha demostrado ser una herramienta eficaz para optimizar el uso del agua, aumentar la productividad de los cultivos y mejorar la sostenibilidad en regiones con recursos hídricos limitados.

Los sistemas de riego inteligentes basados en IoT permiten ajustar el suministro de agua de manera precisa según las necesidades específicas de los cultivos, logrando ahorros significativos de hasta un 40% en el consumo hídrico.

La adopción de IoT no solo mejora la eficiencia operativa de las actividades agrícolas, sino que también contribuye a reducir el impacto ambiental, promoviendo prácticas sostenibles y resilientes frente a la escasez hídrica y el cambio climático.

Aunque el IoT ofrece múltiples ventajas, su implementación enfrenta barreras como altos costos iniciales, falta de infraestructura tecnológica en áreas rurales y la necesidad de capacitación técnica para los agricultores.

La superación de las limitaciones técnicas y económicas requiere el respaldo de políticas públicas, como subsidios para pequeñas explotaciones agrícolas y programas de formación para facilitar la integración de IoT en el sector.

El IoT tiene el potencial de revolucionar el sector agrícola al proporcionar soluciones innovadoras para la gestión de recursos, fomentando la seguridad alimentaria global y el uso responsable del agua en la agricultura.

7. Literatura Citada

Abdikadir, N. M., Hassan, A. A., Abdullahi, H. O., & Rashid, R. A. (2023). Smart irrigation system. International Journal of Electrical and Electronics Engineering, 10(8), 224-234. https://doi.org/10.14445/23488379/ijeee-v10i8p122

Al-Ali, A., Nabulsi, A. A., Mukhopadhyay, S., Awal, M. S., Fernandes, S., & Ailabouni, K. (2019). IoT-solar energy powered smart farm irrigation system. Journal of Electronic Science and Technology, 17(4), 100017. https://doi.org/10.1016/j.jnlest.2020.100017

B, A., P, J., V, M., Shalini, S., & R, S. K. (2023). Design and implementation of a smart solar irrigation system using IoT and machine learning. E3S Web of Conferences, 387, 05012. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338705012

Farooq, Q. U., Naqash, M. T., Ahmed, A. T., & Khawaja, B. A. (2021). Optimization of subsurface smart irrigation system for sandy soils of arid climate. Modelling and Simulation in Engineering, 2021, 1-14. https://doi.org/10.1155/2021/9012496

Fuentes-Peñailillo, F., Ortega-Farías, S., Acevedo-Opazo, C., Rivera, M., & Araya-Alman, M. (2023). A smart crop water stress index-based IoT solution for precision irrigation of wine grape. Sensors, 24(1), 25. https://doi.org/10.3390/s24010025

Hamdi, M., Rehman, A., Alghamdi, A., Nizamani, M. A., Missen, M. M. S., & Memon, M. A. (2021). Internet of Things (IoT) based water irrigation system. International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE, 17(05), 69-80. https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i05.22081

Jaroensutasinee, K., Jaroensutasinee, M., Boonsanong, P., & Sparrow, E. (2024). Mangosteen yield and fruit quality under regulated irrigation with sensors and IoT. Journal of Human Earth and Future, 5(2), 205-215. https://doi.org/10.28991/hef-2024-05-02-05

Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., & Rathnayake, U. (2024). A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. Smart Agricultural Technology, 8, 100487. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100487

Martinez, J. L. D., Salcedo, D., Mercado, T., & Quiñonez, Y. (2024). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual y su aplicación mediante un prototipo. RISTI - Revista Ibérica de Sistemas E Tecnologias de Informação, 53, 106-121. https://doi.org/10.17013/risti.53.106-121

Moeti, M. N., Mokwena, S. N., & Selape, M. (2024). Factors influencing the adoption of Internet of Things in the agricultural sector in Limpopo province. South African Journal of Information Management, 26(1). https://doi.org/10.4102/sajim.v26i1.1669

Morchid, A., Jebabra, R., Khalid, H. M., Alami, R. E., Qjidaa, H., & Jamil, M. O. (2024). IoT-based smart irrigation management system to enhance agricultural water security using embedded systems, telemetry data, and cloud computing. Results in Engineering, 23, 102829. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102829

Myeko, Z., & Rambe, P. (2024). IoT appropriation for crop management and productivity enhancement in South Africa. South African Journal of Information Management, 26(1). https://doi.org/10.4102/sajim.v26i1.1796

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pérez-Baca, M. S., Sambrano-Luna, K. L., Sánchez-Ramírez, J. M., Cabana-Cáceres, M., & Castro-Vargas, C. (2024). Design and implementation of an automated irrigation control for home plantations. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 35(3), 1437. https://doi.org/10.11591/ijeecs.v35.i3.pp1437-1446

Qureshi, T., Saeed, M., Ahsan, K., Malik, A. A., Muhammad, E. S., & Touheed, N. (2022). Smart agriculture for sustainable food security using Internet of Things (IoT). Wireless Communications and Mobile Computing, 2022, 1-10. https://doi.org/10.1155/2022/9608394

Sadek, N., Kamal, N., & Shehata, D. (2023). Internet of Things-based smart automated indoor hydroponics and aeroponics greenhouse in Egypt. Ain Shams Engineering Journal, 15(2), 102341. https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102341

Sohrabi, C., Alsafi, Z., O'Neill, N., Khan, M., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., & Agha, R. (2021). World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). International Journal of Surgery, 76, 71–76. https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2020.02.034

Tsiropoulos, Z., Skoubris, E., Fountas, S., Gravalos, I., & Gemtos, T. (2022). Development of an energy-efficient and fully autonomous low-cost IoT system for irrigation scheduling in water-scarce areas using different water sources. Agriculture, 12(7), 1044. https://doi.org/10.3390/agriculture12071044

Tsolakis, N., Harrington, T. S., & Srai, J. S. (2022). Leveraging automation and data-driven logistics for sustainable farming of high-value crops in emerging economies. Smart Agricultural Technology, 4, 100139. https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100139

Xu, X., Patibandla, R. S. M. L., Arora, A., Al-Razgan, M., Awwad, E. M., & Nyangaresi, V. O. (2024). An adaptive hybrid (1D-2D) convolution-based ShuffleNetV2 mechanism for irrigation levels prediction in agricultural fields with smart IoTs. IEEE Access, 12, 71901-71918. https://doi.org/10.1109/access.2024.3384473

Zeng, Y., Chen, C., & Lin, G. (2023). Practical application of an intelligent irrigation system to rice paddies in Taiwan. Agricultural Water Management, 280, 108216. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108216

ÍNDICE DE IMÁGENES

De izquierda a derecha

1. https://www.kevinbriggsphotography.net/https://lavozdeperu.com/peru-en-top-ten-mundial-de-productores-de-cafe-arabica/
2. https://www.instagram.com/p/C8yykpGoSVo/?epik=djoyJnU9ZmM-2MHExQ1NVb3RjMFhWbUg3U1RCZlBDeFUyVTRCSTImcDowJm49eX-ZaTUd3YllmaoVGYmUzcGM3RGg1QSZoPUFBQUFBR2dQbElJ
3. https://agraria.pe/noticias/la-naranja-es-el-cultivo-sensacion-en-tac-na-32207
4. https://larepublica.pe/tag/anchoveta
5. https://residuosexpo.com/2025/conferencias/
6. https://andina.pe/agencia/noticia-en-region-junin-existe-una-pobla-cion-mas-88000-alpacas-517221.aspx

Ciencias e Ingeniería

https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria
Volumen I- N° 1 Abril 2025

Contáctenos en nuestro correo electrónico
cienciaseingenierias@ctscafe.pe

Página Web:
https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria