

Tecnología de Internet de las Cosas en el monitoreo de cultivos agrícolas

Internet of things technology in agricultural crop monitoring

Fecha de recepción: 2023-05-15 • Fecha de aceptación: 2023-08-04 • Fecha de publicación: 2023-10-10

Martín Carlos Abad Alay¹

Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Ecuador

martin.abad2016@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4585-2878>

María Alejandra Méndez García²

Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Ecuador

maria.mendez2016@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8806-3529>

Orlando Ramiro Erazo Moreta³

Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Ecuador

oerazo@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5642-9920>

RESUMEN

El Internet de las Cosas (IoT) desempeña un papel importante en la agricultura porque proporciona beneficios para el desarrollo de cultivos y mejora de producción. Como existen diversos artículos que muestran su utilidad, la finalidad de este trabajo es analizarlos sistemáticamente para extraer datos sobre sistemas IoT enfocados en monitorizar cultivos agrícolas. Como parte del protocolo de revisión se plantearon cuatro preguntas direccionadas a conocer más sobre la manera en que se realiza el

monitoreo, los componentes empleados, las funcionalidades y los datos recolectados. Utilizando cuatro de las bases de datos populares del área, se seleccionaron 41 artículos. De la extracción de datos se pudo conocer la utilización de dispositivos IoT con cierta preferencia hacia las aplicaciones móviles y una tendencia a emplear componentes como: ESP8266, YL-69, DTH-1 y Arduino. Además, entre las funcionalidades identificadas están el monitoreo del suelo, del crecimiento y rendimiento del cultivo, de la invasión de animales, el riego automático, entre otras. Por último, se encontraron varias decenas de tipos de datos que recolectan los dispositivos como parámetros ambientales y características del suelo. Todos estos datos ayudan en la caracterización de los sistemas IoT de interés y pueden servir de base para desarrollar otros.

PALABRAS CLAVE: procesamiento de datos, productos agrícolas, sistema agrario, vigilancia

ABSTRACT

Internet of Things (IoT) plays an important role in the agricultural sectors because it provides benefits such as crop development and production improvement. As there are various articles that show their usefulness, the purpose of this work is to systematically analyze them to extract data on IoT systems focused on monitoring agricultural crops. As part of the review protocol, four questions were posed aimed at learning more about the way in which monitoring is carried out, the components used, the functionalities, and the data collected by the devices. Using four of the popular databases in the area, 41 articles were selected. From the data extraction it was possible to know the use of IoT devices with a certain preference towards mobile applications and a tendency to use the following components: ESP8266, YL-69, DTH-1 and Arduino. In addition, among the identified functionalities we can mention the soil monitoring, the growth and the crop yield, the invasion of animals, automatic irrigation, among others. Finally, several tens of types of data collected by the devices such as environmental parameters and soil characteristics were found. All these data help in the characterization of the IoT systems of interest and can serve as a basis for the development of others.

KEYWORDS: data processing, agricultural crops, agromatics, monitoring

Introducción

La agricultura es uno de los sectores más importantes porque es la base de la alimentación humana y cada día es más demandada por la población (Tzounis et al., 2017; Verdouw et al., 2016). Conforme se incrementa la población, se requiere una mayor producción de alimentos. Sin embargo, los agricultores no siempre disponen de tiempo, mano de obra y otros recursos necesarios para los cuidados que requiere cada uno de sus cultivos agrícolas. A pesar de la amplia experiencia que podrían tener, los agricultores a menudo dependen de métodos tradicionales y subjetivos para monitorear y controlar sus cultivos, lo que puede llevar a decisiones inexactas y costosas (Mazo-Zuluaga, 2020).

Esto significa que uno de los principales problemas, a los que se enfrenta la agricultura, es la falta de información en tiempo real sobre las condiciones de los cultivos y los factores ambientales que pueden afectar su rendimiento. A esto se le puede sumar la gestión ineficiente de los recursos del agua y de otros recursos naturales que puede tener efectos negativos para el agricultor y sus cultivos. Por ello, es necesario seguir buscando soluciones como las que pueden brindar las tecnologías de la información y comunicación.

Precisamente, el Internet de las Cosas (IoT) se está utilizando cada vez más en el sector agrícola para la monitorización de los cultivos y la optimización de su crecimiento (Tovar et al., 2019). Los dispositivos IoT como sensores y cámaras se pueden instalar en los campos y ser utilizados para recopilar información sobre el suelo, el clima, la humedad y otros factores que influyen en el crecimiento de los cultivos. Esta información a su vez puede transmitirse por medio de redes inalámbricas a un sistema central para su análisis junto con las posteriores recomendaciones y alertas a los agricultores. En definitiva, los sistemas IoT pueden ser empleados para monitorear automáticamente las granjas agrícolas con una reducida participación de las personas a cargo (Farooq et al., 2019).

Este funcionamiento de los sistemas IoT ha derivado en el uso de diferentes metodologías y de distintos componentes en los trabajos realizados (Guerrero-Ulloa, et al., 2023a;2023b;2023c). Como es de esperar, conocer cómo se están utilizando los sistemas IoT en la agricultura, así como los componentes empleados podría ser de utilidad para su caracterización y un mejor desarrollo de futuros trabajos. Por ello se han llevado a cabo algunas revisiones bibliográficas tratando de organizar el conocimiento en torno a la agricultura e IoT. Algunas de estas investigaciones son generales, llegando a abarcar incluso un poco más que solo IoT; por ejemplo, Bazán-Vera et al. (2017 y Vásquez-Bermúdez et al. (2019), mientras que otras son muy específicas concentrándose en algún tipo de cultivo en particular, tal la de Ponce et al. (2021). Asimismo, otros trabajos más recientes se han concentrado en el rol de IoT en la agricultura como los de Farooq et al. (2019;2020) y en sus avances y desafíos Sinha & Dhanalakshmi (2022).

Más allá de los aportes de los trabajos mencionados, puede resultar de interés conocer con más detalles sobre los sistemas IoT en el ámbito agrícola. De esto nace la finalidad de este estudio, la cual es determinar los componentes y utilidades de sistemas enfocados al cuidado y monitorización de plantas agrícolas utilizando IoT. Para tal efecto, este estudio consistió en



una revisión sistemática de literatura, cuyos resultados ofrecen un panorama más preciso de los sistemas de interés. Así, los resultados que aquí se describen contribuyen a tener una visión más clara de las características de los sistemas IoT para el monitoreo de cultivos y podrían ser utilizados por otros diseñadores o investigadores al momento de diseñar sus propios dispositivos.

Metodología

En el presente trabajo se realiza una investigación utilizando la técnica de revisión sistemática de literatura. Se trata de realizar un conjunto de resúmenes claros y estructurados de la información disponible orientada a responder una o más preguntas específicas (Moreno et al., 2018). Para llevarla a cabo se dividió el proceso en diferentes partes: definir las preguntas de investigación, seleccionar las bases datos en las que se realizará las búsquedas de artículos, definir las palabras claves y cadena de búsqueda, establecer criterios de inclusión y exclusión, y los datos que se van a extraer de los artículos seleccionados.

El primer paso, correspondiente a la definición de las preguntas de investigación, se aprecia en la *Tabla 1*. Como puede notarse, se formularon cuatro preguntas enfocadas especialmente a los componentes de los sistemas IoT.

Tabla 1

Preguntas de Investigación

Pregunta de investigación
¿De qué manera monitorizar las plantas en cultivos agrícolas con el uso de Internet de las Cosas?
¿Qué sensores o componentes se utilizan para garantizar la optimización de recursos y tiempo por parte de los agricultores?
¿Cuáles son las funcionalidades que tienen los dispositivos IoT utilizados para la monitorización y cuidados de los cultivos agrícolas?
¿Cuáles son los datos que recoge el dispositivo IoT?

Una vez definidas las preguntas se seleccionaron las bases datos en las que se realizó la búsqueda de artículos científicos. Para ello se utilizaron cuatro bases de datos: IEEEExplore, Springer, ACM y Science Direct. Estas fueron escogidas por su accesibilidad a una gran cantidad de información bibliográfica relacionada al tema, lo que las hace relevantes en el área (Turner, 2010 y Ponce et al., 2021). Posteriormente se realizó un tipo de búsqueda avanzada de los estudios más relevantes con las palabras claves definidas.

La utilización de palabras claves en el tipo de búsqueda avanzada permite precisar la información que se requiere buscar. En ella se utilizaron las siguientes palabras claves: “IoT”, “Agricultural crop”, “Agricultural sector”, “Monitoring”, “Agriculture” y los operadores lógicos “AND” y “OR”. La combinación de estos términos y operadores dio como resultado la siguiente cadena de búsqueda: (“IoT” AND “Agricultural crops” AND “Agricultural sector” OR “Agriculture” AND “Monitoring”).

Como siguiente paso se procedió a establecer los criterios de inclusión y exclusión. Estos criterios permiten establecer los límites de la revisión sistemática y obtener resultados apropiados en cada consulta realizada en las diferentes bases de datos. Los criterios de inclusión establecidos fueron los siguientes: 1) todo artículo seleccionado debe estar escrito en inglés, 2) en el estudio deben mencionarse los componentes por los que se encuentra conformado el dispositivo IoT, y 3) los datos que recolecta. Para los criterios de exclusión se estableció que se descartarán: 1) los estudios escritos en otro idioma diferente al inglés y que 2) su año de publicación sea inferior al 2017; también se excluyeron 3) los artículos no relacionados con el uso de IoT para la monitorización de los cultivos del sector agrícola.

Resultados

La *Figura 1* presenta los resultados de la búsqueda. Se identificaron 179 estudios en las cuatro bases de datos. Luego de revisar coincidencias y pertinencia se preseleccionaron 86, de los cuales se descartaron 45 aplicando los criterios indicados en la sección previa. Finalmente, se trabajó con 41 estudios que fueron utilizados para extraer los datos que permitan responder las preguntas formuladas. Adicionalmente, la *Figura 2* muestra la distribución de estudios seleccionados de acuerdo con la base de datos indexada de donde fueron obtenidos.

Figura 1

Selección de Estudios

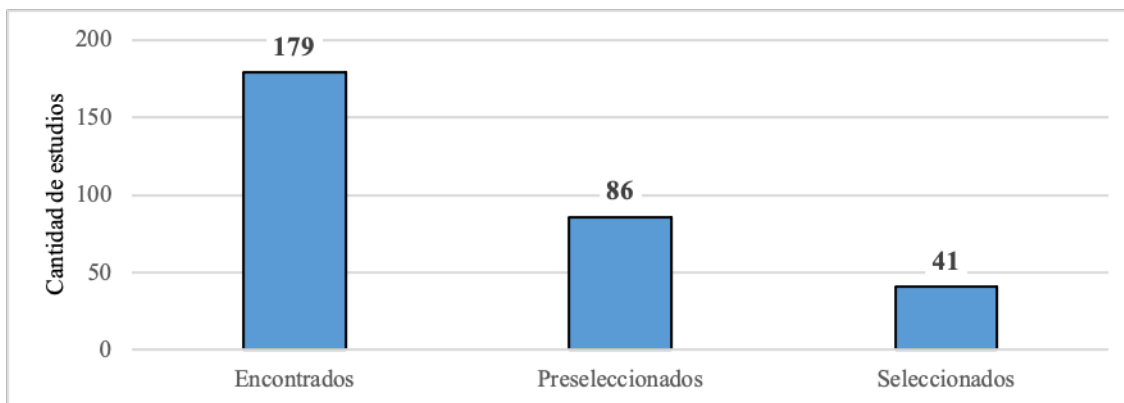
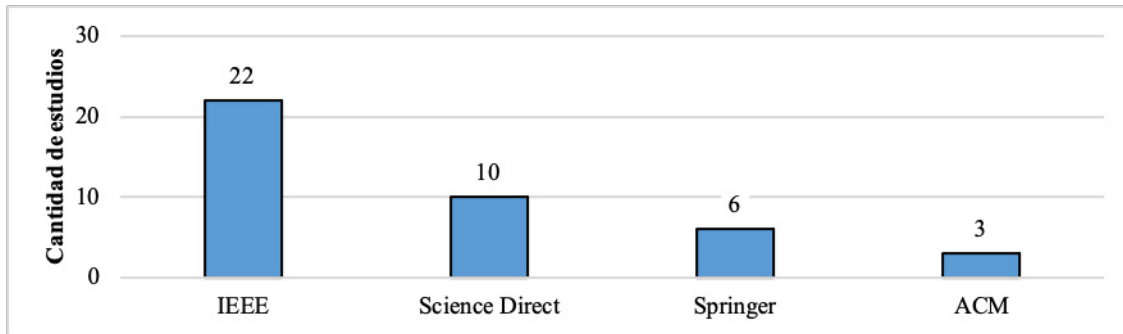


Figura 2

Estudios Seleccionados Para Revisión Detallada según la Base de Datos Consultada



La revisión sistemática de literatura se realizó en el mes de diciembre de 2022, por lo que los documentos se filtraron hasta el año 2022. A continuación, se filtraron los estudios seleccionados por año de publicación (ver *Figura 3*). Se puede observar que el año con más estudios publicados (14) fue 2022, mientras que 2017 fue el año con menos publicaciones (1). También puede notarse que en 2020 hubo una cantidad menor de estudios con respecto a 2019 y 2021. Así, la *Tabla 2* contiene el conjunto de artículos seleccionados y utilizados en la extracción de datos.

Figura 3

Estudios Seleccionados por Año de Publicación

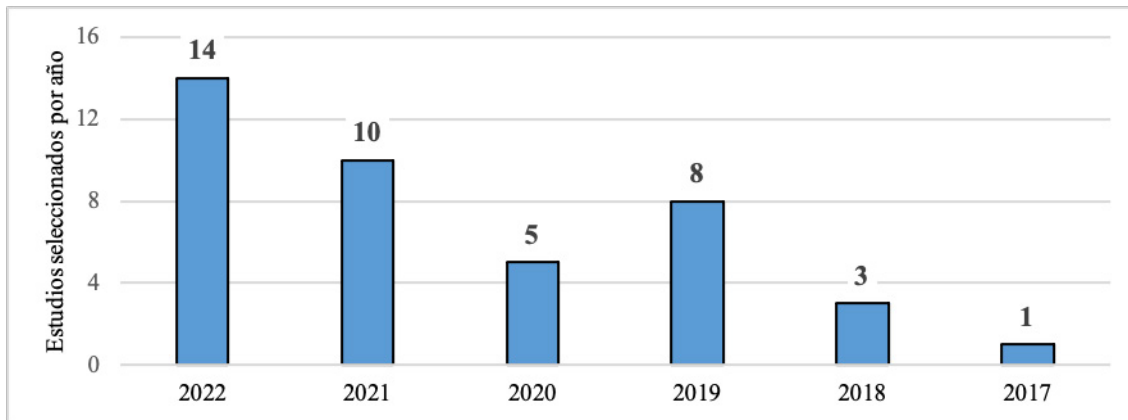


Tabla 2

Resumen de Artículos Seleccionados

Título	Referencia	Descripción
Intelligent irrigation system - An IOT based approach	Rajkumar et al. (2017)	Se trata de un sistema de control automatizado con tecnología electrónica utilizando un microcontrolador que enciende y apaga el motor de bombeo al detectar el contenido de humedad de la tierra y la línea telefónica GSM después de medir la temperatura, la humedad y la humedad del suelo.

Internet of Things (IoT) for Precision Agriculture Application	Dholu & Ghodinde (2018)	Propone el desarrollo de un nodo sensor capaz de medir la humedad del suelo, la temperatura y luz ambiental y crear la señal de actuación para todos los actuadores.
IoT Based Smart Agriculture System	Sushanth & Sujatha (2018)	Se trata del desarrollo de un sistema que puede controlar la temperatura, la humedad, la humedad e incluso el movimiento de los animales que pueden destruir los cultivos en el campo agrícola a través de sensores utilizando la placa Arduino y en caso de cualquier discrepancia enviar un SMS, así como una notificación en la aplicación desarrollada para la misma al smartphone del agricultor mediante Wi-Fi/3G/4G.
Implementation of a Low-power Wireless Sensor Network for Smart Farm Applications	Baldovino et al. (2019)	Se trata de una configuración de red de sensores inalámbricos (WSN) que utiliza una red de área extensa de baja potencia (LPWAN) para abordar el problema de un sistema de comunicación inalámbrica fiable.
IoT Aided Techniques for Agriculture	Malhotra et al. (2019)	Aborda las mejoras de las prácticas agrícolas en la India aumentando el rendimiento y la calidad de las cosechas manteniendo los costes al mínimo.
Utility System for Elevating Pre and Post Production of Crops	Roy et al. (2019)	Se trata de un sistema ayudará a los agricultores a saber qué cultivo dará el máximo rendimiento en función del escenario agrícola actual, a participar en transacciones sin efectivo con el administrador del gobierno para la venta directa de los cultivos y también a estar al día sobre las herramientas modernas y las técnicas agrícolas.
Precise Automation and Analysis of Environmental Factor Effecting on Growth of St. John's Wort	Lekbangpong et al. (2019)	Se trata de un sistema en el cual se aplicó IoT en los dispositivos sensores para controlar y recopilar datos ambientales relevantes del invernadero diseñado.
IoT based Smart System to Support Agricultural Parameters: A Case Study	Pathak et al. (2019)	Se desarrolló un algoritmo de búsqueda de Cuckoo, que permite la asignación de agua para la agricultura en cualquier condición. Los diversos parámetros, como la temperatura, la turbidez, el pH y la humedad, se recopilaron mediante el uso de una plataforma IoT, equipada con sensores relacionados y sistemas de comunicación inalámbrica.
CLAY-MIST: IoT-cloud enabled CMM index for smart agriculture monitoring system	Mekala & Viswanathan (2019)	Evaluó el cociente de temperatura en base a la cantidad de vapor de agua y la presión en el aire lo que valora el crecimiento de las plantas.
AgriPrediction: A proactive internet of things model to anticipate problems and improve production in agricultural crops	Dos Santos et al. (2019)	Presenta un modelo llamado AgriPrediction, que combina un sistema de red inalámbrica de corto y mediano alcance con un motor de predicción para anticipar posibles disfunciones en los cultivos de manera proactiva, notificando así al agricultor las acciones correctivas tan pronto como sea posible.
IoT and agriculture data analysis for smart farm	Muangprathub et al. (2019)	Se desarrolló un sistema de riego óptimo de cultivos agrícolas basado en una red de sensores inalámbricos. Tuvo como objetivo desarrollar un sistema de control utilizando sensores de nodo en el campo de cultivo con gestión de datos a través de smartphone y aplicación web.
Sensor Stipulation with THAM Index for Smart Agriculture Decision-Making IoT System	Mekala & Viswanathan (2020)	Trata sobre un mecanismo de selección de sensores y un índice de medición de la temperatura del suelo, la humedad y la calidad del aire y el agua (THAM) para la estipulación de nodos, basado en un sistema inteligente de toma de decisiones para el ámbito agrícola que considera el cociente de temperatura, un modelo regulador de fertilizantes NPK y la función agronómica.

IoT Sensing Platform for e-Agriculture in Africa	Oliveira-JR et al. (2020)	Se presenta la arquitectura de la plataforma IoT Sensing Platform, la cual describe los diferentes prototipos relacionados con la plataforma propuesta y presenta una validación preliminar llevada a cabo en un conjunto de los prototipos desarrollados, con el fin de evaluar la viabilidad de los elementos de detección del Proyecto "África".
Study of RTPPS algorithm in UWB communication medium for a surveillance system to protect agricultural crops from wild animals	Borah et al. (2020)	Se trata de un algoritmo único llamado "Real Time Pixel by Pixel Subtraction" (RTPPS) de banda ultra ancha para proteger los cultivos agrícolas de diferentes animales salvajes.
Design and Test an Intelligent Irrigation System for Small Surfaces	Al-Atwan & Nitulescu (2020)	Se diseñó y probó un sistema de riego inteligente basado en una red de sensores inalámbricos.
Agrinex: A low-cost wireless mesh-based smart irrigation system	Tiglaio et al. (2020)	Presenta una alternativa a los métodos de monitoreo existentes en las tierras agrícolas al tiempo que proporciona un mecanismo de riego para ayudar en los esfuerzos de conservación de recursos mediante el uso de una red inalámbrica de sensores y actuadores (WSAN).
Smart Irrigation system using Internet of Things	Anitha et al. (2020)	Se trata de un sistema de riego inteligente basado en IoT para identificar la humedad del suelo y controlar el riego de los cultivos de forma automática.
Smart Irrigation and Security System for Agricultural Crops and Trees	Sachan et al. (2021)	Se trata de un sistema inteligente de riego y seguridad que predice la calidad y fertilidad del suelo y protege las semillas agrícolas durante el periodo de siembra.
IoT-based Smart Water Management Systems	Dragulinescu et al. (2021)	Se trata de un sistema de monitorización basado en la tecnología IoT que pueda evaluar la calidad del agua en tiempo real. Los datos se toman con la ayuda de sensores ubicados tanto en cuencas hidrográficas como en terrenos agrícolas.
ANN Algorithm based Smart Agriculture Cultivation for Helping the Farmers	Deivakani et al. (2021)	Se trata de un sistema de predicción que ayuda a los agricultores a predecir el rendimiento de los cultivos. Se desarrolló una RNA para obtener los datos del sensor de pH y el sensor de humedad, en el que estos valores de datos son entrenados y probados y también se ha utilizado para predecir el rendimiento de los cultivos en el campo en particular.
Smart Irrigation and Crop Protection Using Arduino	Thirrunavukkarasu et al. (2021)	Se trata de un sistema de comunicación para el riego inteligente y la protección de los cultivos de los animales que invaden granjas como vacas, cabras, elefantes, etc.
Digital agriculture for small-scale producers: challenges and opportunities	Chandra & Collis (2021)	Destaca las innovaciones necesarias en diferentes áreas de la ciencia de datos y la informática para permitir la agricultura digital de los pequeños agricultores.
IoT and deep learning-inspired multi-model framework for monitoring Active Fire Locations in Agricultural Activities	Sharma et al. (2021)	Propone un sistema multimodelo inspirado en IoT y aprendizaje profundo para la detección, difusión y monitoreo de ubicaciones de incendios activos (AFL) en actividades agrícolas.
Monitoring Mung Bean's Growth using Arduino	Audrey et al. (2021)	Se trata de la implementación de un sistema de monitoreo de crecimiento de plantas. Este sistema verificará el clima, el clima y los factores externos como el aire, el suelo, la luz y otros, que afectarán los cultivos.

A study on the design and operation method of plant factory using artificial intelligence	Hyunjin & Sainan (2021)	Se trata de un sistema llamado "Plant factory" que tiene como objetivo proporcionar automáticamente un entorno óptimo para cada cultivo utilizando inteligencia artificial.
Monitoring and recording system of laboratory environmental conditions as ISO/IEC 17025 requirement	Kelebekler (2021)	Se trata de un sistema de monitorización basado en IoT diseñado y aplicado para el seguimiento de la temperatura y la humedad en el laboratorio ventilado con un simple acondicionador de aire de acuerdo con las normas ISO/IEC 17025.
IOT-based air quality monitoring system for agriculture	Gamal et al. (2022)	Propone una red basada en IoT de bajo consumo para la monitorización de la calidad del aire en campos agrícolas.
The Internet of Things at the service of tomorrow's agriculture	Abbassi & Benlahmer (2021)	Se centra en el papel de IoT en la agricultura y presenta algunos dispositivos, como equipos de precisión, sensores y actuadores de IoT, sistemas de geoposicionamiento y robots que conducen a una agricultura inteligente.
EAgri: Smart Agriculture Monitoring Scheme using Machine Learning Strategies	Venkatesh et al. (2022)	Se trata de un robot de monitorización agrícola llamado eAgriBot, en el que se integra la lógica del aprendizaje automático y se producen predicciones inteligentes para evitar que los cultivos se vean afectados por las condiciones meteorológicas, las precipitaciones y el nivel de agua del suelo.
Green House System Design Using IOT	Khan & Karna (2021)	Se trata de un sistema de invernadero utilizando IoT. Utiliza un microcontrolador Arduino UNO junto con sensores de observación del entorno y actuadores, módulo IOT ESP01 para la comunicación junto con la aplicación Blynk (que muestra los valores en tiempo real en el móvil). Se utiliza para lograr un sistema automatizado para reemplazar el control manual.
Implementation of a Wild Animal Intrusion Detection Model Based on Internet of Things	Panda et al. (2022)	Se trata de un sistema que utiliza IoT para ayudar en la detección de intrusiones de animales salvajes en explotaciones agrícolas mediante la monitorización del campo. Se adoptan sensores ultrasónicos en las esquinas del campo, que primero detectan la intrusión y luego capturan la imagen del invasor con una cámara montada en el E-vehículo embebido con un microcontrolador MCU Node que está monitorizando el campo.
Automated Smart Irrigation System using IoT with Sensor Parameter	Tephila et al. (2022)	Se trata de un sistema de riego inteligente basado en IoT para construir un dispositivo de gestión inteligente que utilice eficientemente el agua disponible. El objetivo de este dispositivo es gestionar automáticamente el tiempo, evitar problemas de riego insuficiente o excesivo, racionalizar el consumo y la distribución de agua y gestionar las reservas de agua.
Boltuino Platform Based Cognitive Irrigation System with Weather Adaptability for Efficient Water Use	Mondal & Dutta (2022)	Se trata de un sistema cognitivo basado en IoT con un impacto sustancial en la conservación del agua. Los agricultores podrán acceder a información sobre la humedad del suelo y la temperatura a través de Internet o de sus dispositivos móviles, y el motor de riego se encenderá y apagará automáticamente en respuesta a estos datos.
Crop Growth Monitoring System Based on Agricultural Internet of Things Technology	Wu (2022)	Con el fin de mejorar el efecto del seguimiento del crecimiento de los cultivos, combina la tecnología IoT para construir un sistema de seguimiento del crecimiento de los cultivos.

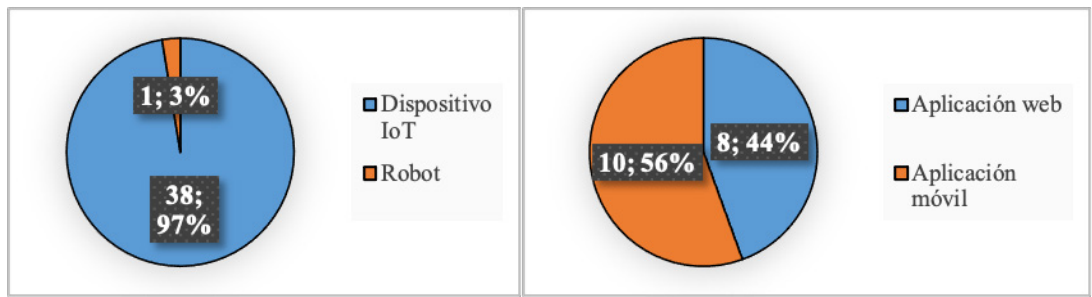
An intelligent WSN-UAV-based IoT framework for precision agriculture application	Singh & Sharma (2022)	Este artículo presenta una plataforma para gestionar la información de cultivos agrícolas recopilada a través de UAV multicolor.
Smart Irrigation System	El Mezouari et al. (2022)	Presenta un sistema de riego automático basado en sensores inteligentes que se puede utilizar de forma moderada y económica para monitorear la menta o cualquier tipo de planta mediante la integración de algunos dispositivos electrónicos conectados y otros instrumentos ventajosos ampliamente utilizados en el campo de IoT.
Performance analysis of deep learning architectures for plant leaves disease detection	Dahiya et al. (2022)	En este trabajo se estudian y prueban diferentes arquitecturas profundas para la detección de enfermedades en hojas de plantas.
A Self-Powered, Real-Time, NRF24L01 IoT-Based Cloud-Enabled Service for Smart Agriculture Decision-Making System	Lova Raju & Vijayaraghavan (2022)	Se trata de un sistema IoT factible e integrado para la agricultura inteligente. El sistema ahorra energía y aumenta la productividad. Este método reduce el esfuerzo humano mientras evalúa los parámetros de medición del índice de calor para monitorear el medio ambiente para un crecimiento óptimo de la agricultura.
Classification and yield prediction in smart agriculture system using IoT	Gupta & Nahar (2023)	Se trata de un modelo de ML híbrido con IoT para la predicción del rendimiento. Este trabajo consta de tres fases: preprocesamiento, selección de características (FS) y clasificación. Inicialmente, el conjunto de datos se procesa previamente y el FS se realiza sobre la base del FS basado en la correlación (CBFS) y el algoritmo del factor de inflación de la varianza (VIF).
A case study of a real-time internet of things system for site-specific potato crop management in El-Salhia Area-Egypt	Mohammad EL-Basioni et al. (2022)	Se describen la estructura, las pantallas y los servicios de EGYPADS, incluyendo: delineación de zonas de manejo usando coordenadas absolutas y virtuales, evaluación de la idoneidad de la tierra (LSA), ingreso de datos de campo en tiempo real y de hojas de MS Excel, almacenamiento de mapas en formato adecuado para la aplicación de tasa variable, en tiempo real y procesamiento de datos históricos, gestión centralizada, y formulación flexible de eventos y acciones relacionadas.
FARMIT: continuous assessment of crop quality using machine learning and deep learning techniques for IoT-based smart farming	Perales Gómez et al. (2022)	Se trata del desarrollo de una arquitectura llamada <i>Farmit</i> , la cual se divide en tres capas que trabajan juntas para recopilar, procesar y analizar datos de diferentes fuentes para evaluar la calidad de los cultivos.

3.1 Monitoreo de plantas en cultivos agrícolas

En cuanto a la primera pregunta se consideró las tecnologías y aplicaciones empleadas para determinar la manera de monitorear las plantas en cultivos agrícolas usando IoT. Los resultados obtenidos se presentan en la *Figura 4*. Se observa que los trabajos seleccionados se han limitado a dos tipos de tecnologías: dispositivos IoT (98%) y robots (2%). Cabe notar que uno de los trabajos seleccionados que menciona el uso de robots lo hace en combinación con sistemas IoT para monitorear y regar los cultivos agrícolas. Además, desde el punto de vista de *software* se emplean únicamente aplicaciones móviles y aplicaciones web, con una preferencia hacia las primeras.

Figura 4

Tecnologías (Izquierda) y Tipo de Aplicaciones (Derecha) Utilizadas



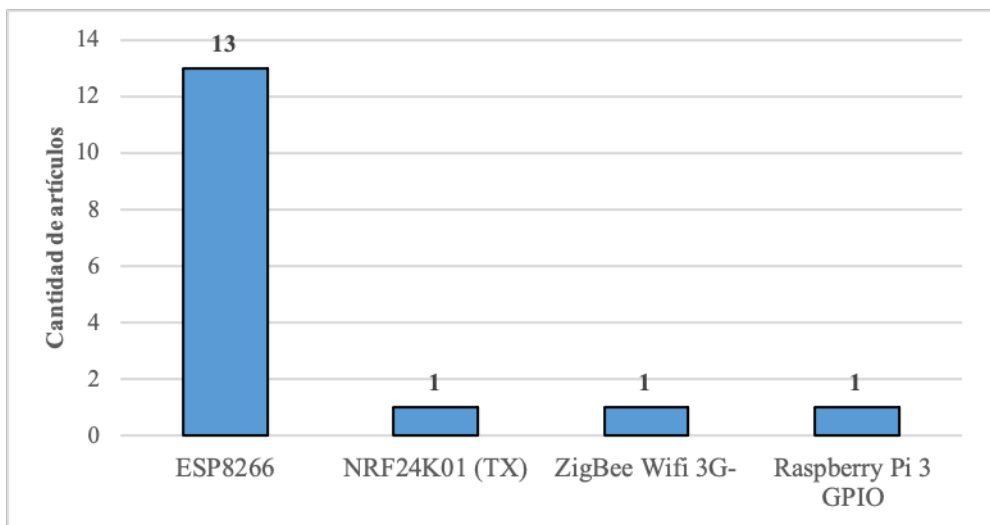
3.2 Sensores utilizados

Para responder la segunda pregunta se identificaron en los trabajos seleccionados los sensores o componentes empleados para monitorear las propiedades atmosféricas referentes a los cultivos. Se consideró el módulo *wifi*, placa base y los sensores necesarios para los diferentes parámetros atmosféricos.

En primer lugar se obtuvo como resultado que en trece de los artículos los autores utilizaron como módulo *wifi* el ESP8266, en un caso se empleó el NRF24K01, en otro se utilizó el ZibBee, Wifi, 3G y uno más usó el Raspberry Pi 3 GPIO (ver *Figura 5*). Los 25 artículos restantes no mencionaron explícitamente la utilización de un módulo *wifi*.

Figura 5

Módulos Wifi Utilizados

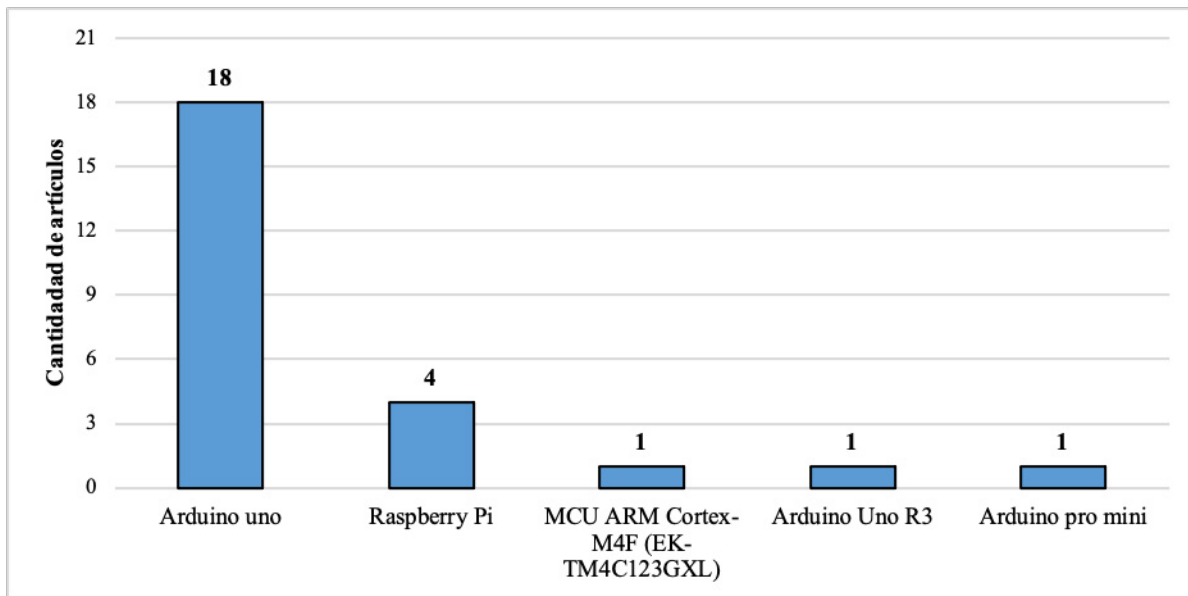


Sin referencia: en 25 trabajos no usan módulo wifi explícitamente.

En cuanto a las placas base (*Figura 6*) se identificó que dieciocho trabajos utilizaron Arduino uno y cuatro emplearon el Raspberry Pi. Además, la utilización de las placas MCU ARM Cortex-M4F (EK-TM4C123GXL), Arduino Uno R3 y Arduino pro mini es mencionada en un artículo cada una. Los dieciséis trabajos restantes no indican el tipo de placa base empleada en sus sistemas.

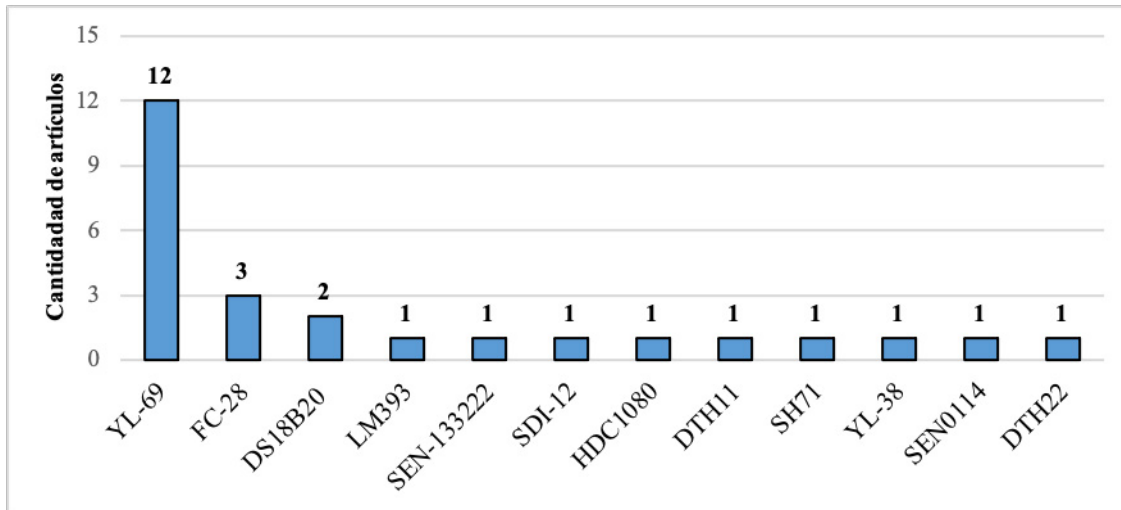
Figura 6

Placas Base Utilizadas



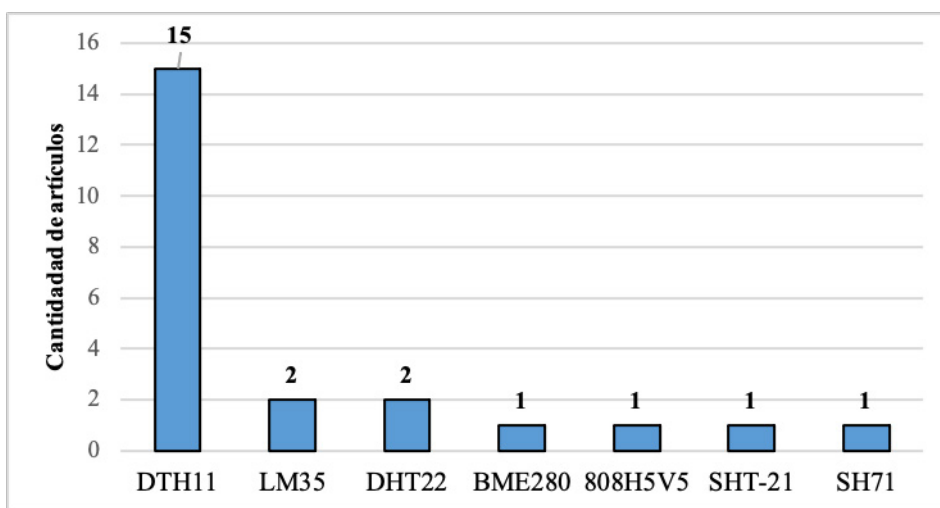
No referenciado: 16 trabajos no especifican la placa base utilizada.

En cuanto a los parámetros atmosféricos, la *Figura 7* presenta los resultados del primero de ellos, la humedad del suelo. Se encontró que doce artículos utilizaron como sensor de humedad el YL-69, tres emplearon el sensor FC-28 y dos el sensor DSI8B20. Además, se localizaron varios trabajos en los cuales se hizo uso de sensores como: LM393, SEN-133222, SDI-12, HDC1080, DTH11, SH71, YL-38, SEN0114, DTH22. En los quince trabajos faltantes no se pudo identificar el sensor de humedad o no lo emplearon.

Figura 7*Sensores de Humedad del Suelo Utilizados*

En 15 trabajos no se identificó sensor de humedad.

Por otro lado, se ha podido constatar que en quince artículos se incorporó el sensor de humedad del aire DTH11, mientras que el sensor LM35 se utilizó en dos artículos, y el DHT22 en otros dos. También se encontraron otros trabajos que mencionan haber usado sensores como: DME280, 808H5V5, SHT-21 y SH71. Los resultados se aprecian en la *Figura 8*; en el resto de los artículos no se indica o no se utilizó este tipo de sensor.

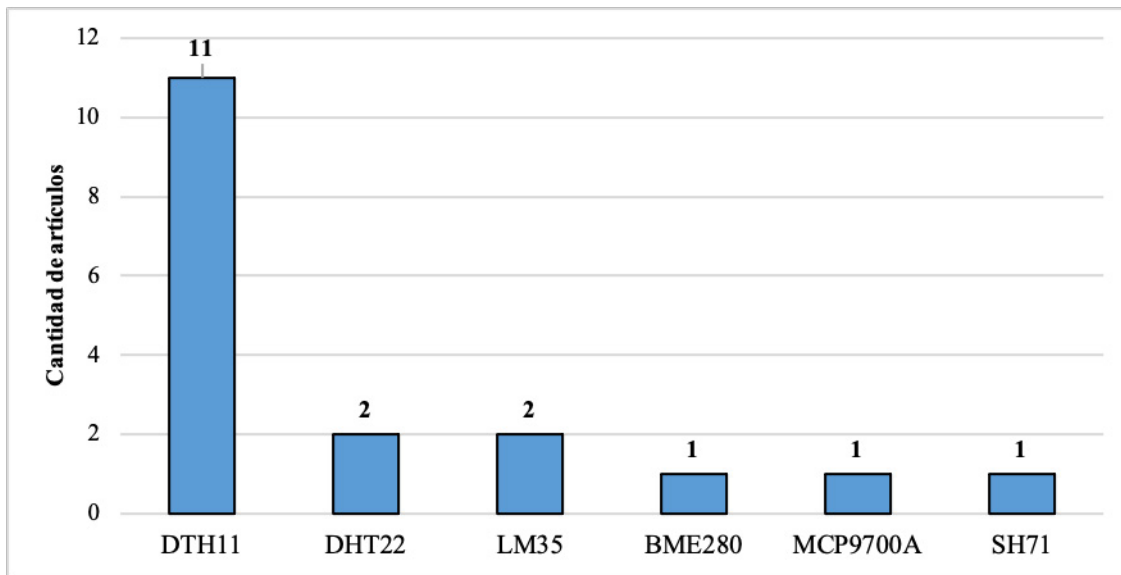
Figura 8*Sensores de Humedad del Aire Utilizados*

En 18 trabajos no se identificó sensor de humedad.

Como se puede observar en la *Figura 9*, once trabajos utilizaron el sensor DTH11 para medir la temperatura del aire, dos el DHT22 y dos el LM35. También, los sensores BM-280, MCP9700A y SH71 se han utilizado una vez en cada uno de los trabajos respectivos. No se identificó este tipo de sensor en los demás trabajos revisados.

Figura 9

Sensores de Temperatura del Aire Utilizados



En 23 trabajos no se identificó el sensor de temperatura

Por otro lado, se encontró que algunos sistemas también miden la calidad del aire. Se observó que entre los sensores empleados están: MQ-5, MQ-4, MQ2, MQ-7, MQ-8, MQ-135 y el MICS-2714. Desde luego, existen trabajos que no miden la calidad del aire porque se centran en otras funcionalidades, dificultando su presentación de manera cuantitativa o gráfica, como en los otros casos.

Con respecto al sensor de ultrasonido, se identificó que, de todos los trabajos investigados, dos emplean estos tipos de sensores los cuales son nRF24L01 y el sensor PIR. En cuanto al tipo de motor y pantalla LCD, cabe mencionar que la mayor parte de los trabajos de investigación utilizaron estos componentes, pero sin especificar el tipo y la marca.

Por último, en la *Figura 10* se puede apreciar otros módulos que se han utilizado en los artículos identificados para otras funcionalidades. Algunos ejemplos de esto son el módulo de radiofrecuencia, GPRS, GPS, relay y carga de batería, junto con otros sensores como el LDR, intensidad óptica, movimiento, OPT3002 y SDS011.

Figura 10*Nube de Palabras de Otros Módulos o Sensores Utilizados*

Sensor de nivel de agua
 Raspberry Pi NoIR Camera v2
 Sensor de de agua Cámara Sensor LDR Solenoid
 Sensor de lluvia BH-1750 Sensor de infrarrojo MPX4115A
 Modulo IR camera Camaras IP Buzzer RFID Bateria recargable
 Módulo gms Módulo de carga de batería sensor OPT3002
 Sensor de polvo Modulo ph Pic Micro-controller
 Sensor de movimiento Leds Módulo GPS
 HM-11Pheht Bateria de litio Camara rgb
 Panel solar Sensor SDS011 Modulo procesador
 Sensor de nitrogeno Módulo relay C4E Sensor de oxígeno
 Módulo RTC FC-37 Módulo UAV OPTOD Sensor de carbono
 Sensor de intensidad óptica B750 Sensor PIR
 Sensor de luz ambiental TEMT6000 Módulo de radiofrecuencia

3.3 Funcionalidades de los dispositivos

Los datos extraídos para responder la tercera pregunta fueron muy variados. Esto dificultó presentarlos de forma cuantitativa. Pudo evidenciarse que en algunos artículos se describía con claridad la funcionalidad del sistema IoT, en otros había expresiones similares y en otros no se mencionaba. Sin embargo, a continuación, se presenta una lista de las funcionalidades que pudieron identificarse, y que, a criterio de los autores, podrían ser más relevantes:

- Monitorización del campo agrícola: el dispositivo monitorizará el campo agrícola por medio de sensores como la humedad del suelo, temperatura, etcétera.
- Detección de la invasión de animales: se realizará por medio de una cámara que poseerá el dispositivo y enviará una alerta al usuario cuando detecte la presencia de animales en determinadas zonas.
- Rendimiento de los cultivos: el dispositivo se encargará de monitorizar el terreno y de recoger información de vital importancia para analizar el estado de los cultivos o realizar mapeos del terreno.
- Crecimiento saludable del cultivo agrícola: el dispositivo estará compuesto por varios sensores y componentes que permitirán monitorear las condiciones ambientales y los niveles de nutrientes en los cultivos. Estos datos serán utilizados para brindarles los cuidados necesarios y así garantizar su crecimiento saludable.
- Sistema de riego automático: el dispositivo regará automáticamente los campos agrícolas cuando detecte que la tierra de estos campos se encuentre seca.

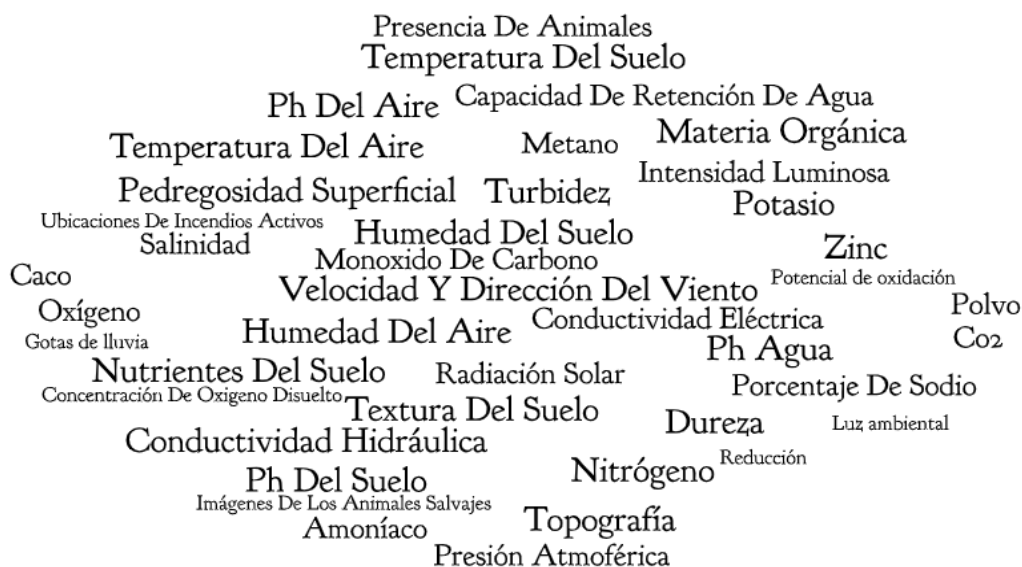
- Monitoreo del suelo: para la realización de esta actividad el dispositivo empleará diferentes sensores como los de humedad y temperatura con el objetivo de recoger información sobre el suelo y analizar los resultados obtenidos para solucionar los problemas que se presenten.
- Evaluación de la nutrición del suelo: se realizará por medio de sensores (como el NPK) que permiten evaluar la nutrición de los suelos de los cultivos.

3.4 Datos recolectados por el dispositivo

En cuanto a la última pregunta, los resultados de los datos recolectados por los sistemas IoT mencionados en los trabajos seleccionados fueron muy variados. Aunque se optó por una representación visual, algunos de ellos, a modo representativo, son: PH del agua, PH del suelo, humedad del suelo, temperatura del aire, temperatura del suelo, presencia de animales y la textura del suelo. Así, la *Figura 11* presenta los diferentes datos identificados.

Figura 11

Nube de Palabras de los Datos Recolectados por el Dispositivo



La realización sistemática de literatura sobre sistemas IoT en el cuidado de los cultivos de plantas agrícolas puede ser considerada una herramienta útil para investigadores que buscan comprender el estado del conocimiento en este campo. A partir de las bases de datos populares en el área se seleccionaron 41 estudios que cumplieran con los criterios para dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas. Hay que notar que la base de datos en la que se encontró la mayor cantidad de estudios fue IEEE, mientras que ACM estuvo en el otro extremo. También, puede notarse que en 2020 hubo una cantidad menor de estudios en comparación con 2019 y 2021. Una posible razón puede deberse a las restricciones de la pandemia que afectaron la realización

de experimentos, la recolección de datos y, en general, la interacción entre investigadores y agricultores (Gans et al., 2020).

En cuanto al monitoreo de plantas en cultivos agrícolas, esta puede ser una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia y rentabilidad de la producción agrícola. Permite a los agricultores recopilar datos en tiempo real sobre el estado de las plantas mediante aplicaciones web y móviles facilitando la toma de decisiones más informadas y precisas en la gestión de sus cultivos. Según los resultados de la revisión, los diseñadores de sistemas IoT han tenido una ligera preferencia por estas últimas. Una razón podría estar en el envío de alertas y su fácil visualización en el dispositivo móvil, como se ejemplifica en Guerrero-Ulloa et al. (2023a). Hay que tener presente también que el uso de aplicaciones móviles es mayor debido a la popularidad de teléfonos y tabletas, que facilitan la interacción y usabilidad permitiendo una monitorización en tiempo real de las plantas y sus condiciones de crecimiento.

Por otro lado, la implementación de sensores IoT en la agricultura ha demostrado ser una herramienta eficaz para la monitorización de los cultivos. La recopilación de datos en tiempo real a través de sensores IoT permite a los agricultores tomar decisiones más informadas y ajustar el manejo de los cultivos para optimizar los recursos y mejorar la calidad de la cosecha. Además, la implementación adecuada y el mantenimiento regular de los sensores son esenciales para garantizar la precisión y la fiabilidad de los datos, y el éxito de la agricultura haciendo uso de sistemas IoT.

Los resultados de esta revisión también muestran que las funcionalidades ofrecidas por los dispositivos IoT para la monitorización de los cultivos en los sectores agrícolas se han ampliado. Esto demuestra que estas son una herramienta de valor considerable en procura de mejorar la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad en la agricultura. Con ellos, los agricultores podrían tener una oportunidad para mejorar la rentabilidad. Entonces, es de esperar que conforme evolucione la tecnología IoT, se desarrollen más funcionalidades que ayuden a los agricultores a mejorar la calidad de sus cultivos y aumentar la productividad.

Este incremento de funcionalidades va de la mano de los datos recolectados. De hecho, se evidenció una importante diversidad de tipos de datos recolectados por los sensores de los dispositivos. Además, tales datos son una herramienta invaluable en la monitorización de los cultivos en los sectores agrícolas para la toma de decisiones adecuada.

Conclusiones

En este trabajo se han descrito los resultados de una revisión sistemática de literatura, enfocada en analizar lo que ocurre con los sistemas IoT en el cuidado de los cultivos de plantas agrícolas, particularmente en cuanto a sus componentes. Para ello, se formularon cuatro preguntas de investigación que permitan tener un panorama más claro de las características de los dispositivos y sus utilidades.

La primera pregunta tuvo que ver con el monitoreo de plantas agrícolas. Como respuesta se encontró solo un trabajo enfocado en IoT y complementado con robots, mientras que los demás



estaban basados solo en IoT. Además, se pudo evidenciar una ligera preferencia hacia el uso de aplicaciones móviles sobre las aplicaciones web.

En segundo lugar, los componentes IoT para la monitorización de los cultivos agrícolas se utilizan para medir diferentes factores ambientales y las condiciones de crecimiento de las plantas. Estos sensores están conectados a través de la tecnología de IoT y permiten recopilar datos en tiempo real para realizar un seguimiento de los cultivos y tomar decisiones basadas en los datos (Hernández-Morales et al., 2022). Los componentes más utilizados en los trabajos seleccionados fueron: Módulo Wifi ESP8266, Arduino Uno y Raspberry Pi como placa base, sensor de humedad del suelo YL-69, sensor de humedad y temperatura DTH11.

En tercer término, con respecto a las funcionalidades de los dispositivos, los trabajos analizados describen funcionalidades muy variadas. Entre las funciones más destacadas están: monitorización del campo agrícola (Panda et al., 2022), datos recopilados por IoT y recomendación al agricultor del riego (Sushanth & Sujatha, 2018), datos a la nube ThingSpeak (Dholu & Ghodinde, 2018), crecimiento saludable del cultivo agrícola (Khan & Karna, 2021), entre otras funcionalidades. Las ofrecidas por los dispositivos IoT son de utilidad para la toma de decisiones y la gestión efectiva de los recursos.

Por último, los datos recogidos por los dispositivos identificados en los estudios seleccionados también son muy variados. No obstante, se puede resaltar el PH del agua, humedad del aire y suelo, temperatura del aire y suelo, nutrientes del suelo, materia orgánica y nitrógeno del suelo (Malhotra et al., 2019).

Referencias

- Abbassi, Y., & Benlahmer, H. (2021). The Internet of Things at the service of tomorrow's agriculture. *Procedia Computer Science*, 191, 475–480. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2021.07.060>
- Al-Atwan, N., & Nitulescu, M. (2020). Design and Test an Intelligent Irrigation System for Small Surfaces. *2nd International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering, ICECCE 2020*. <https://doi.org/10.1109/ICECCE49384.2020.9179269>
- Anitha, A., Sampath, N., & Jerlin, M. (2020). Smart Irrigation system using Internet of Things. *International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering, Ic-ETITE 2020*. <https://doi.org/10.1109/IC-ETITE47903.2020.271>
- Audrey, D., Stanley, Tabaraka, K., Lazaro, A., & Budiharto, W. (2021). Monitoring Mung Bean's Growth using Arduino. *Procedia Computer Science*, 179, 352–360. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2021.01.016>
- Baldovino, R., Valenzuela, I., & Dadios, E. (2019). Implementation of a low-power wireless sensor network for smart farm applications. *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management, HNICEM 2018*. <https://doi.org/10.1109/HNICEM.2018.8666262>
- Bazán-Vera, W., Bermeo-Almeida, O., Samaniego-Cobo, T., Alarcón-Salvatierra, A., Rodríguez-Méndez, A., & Bazán-Vera, V. (2017). "The current state and effects of agromatic: a systematic literature review". In Valencia-García, R., Lagos-Ortiz, K., Alcaraz-Mármol, G., Del Cioppo, J., Vera-Lucio, N., Bucaram-Leverone, M. (Eds.). *Technologies and Innovation. CITI 2017. Communications in Computer and Information Science*, 749, (pp. 269–281). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67283-0_20
- Borah, S., Kumar, R., & Mukherjee, S. (2020). Study of RTPPS algorithm in UWB communication medium for a surveillance system to protect agricultural crops from wild animals. *Proceedings - 2020 6th IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems, ISES 2020*, 121–126. <https://doi.org/10.1109/ISES50453.2020.00036>
- Chandra, R., & Collis, S. (2021). Digital agriculture for small-scale producers. *Communications of the ACM*, 64(12), 75–84. <https://doi.org/10.1145/3454008>
- Dahiya, S., Gulati, T., & Gupta, D. (2022). Performance analysis of deep learning architectures for plant leaves disease detection. *Measurement: Sensors*, 24. <https://doi.org/10.1016/J.MEASEN.2022.100581>
- Deivakani, M., Singh, C., Bhadane, J., Ramachandran, G., & Sanjeev Kumar, N. (2021). ANN Algorithm based Smart Agriculture Cultivation for Helping the Farmers. *Proceedings - 2nd International Conference on Smart Electronics and Communication, ICOSEC 2021*. <https://doi.org/10.1109/ICOSEC51865.2021.9591713>

- Dholu, M., & Ghodinde, K. A. (2018). Internet of Things (IoT) for Precision Agriculture Application. *Proceedings of the 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICOEI 2018*, 339–342. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2018.8553720>.
- Dos Santos, U., Pessin, G., da Costa, C., & da Rosa Righi, R. (2019). AgriPrediction: A proactive internet of things model to anticipate problems and improve production in agricultural crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 202–213. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.10.010>.
- Dragulinescu, A., Balaceanu, C., Osiac, F., Roscaneanu, R., Chedea, V., Suciuc, G., Paun, M., & Bucuci, S. (2021). IoT-based Smart Water Management Systems. *2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging, SIITME 2021 - Conference Proceedings*, 51–56. <https://doi.org/10.1109/SIITME53254.2021.9663611>
- El Mezouari, A., El Fazziki, A., & Sadgal, M. (2022). Smart Irrigation System. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 3298–3303. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2022.10.125>
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., & Naeem, M. (2019). A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. *IEEE Access*, 7, 156237–156271. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949703>
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Umer, T., & Zikria, Y. (2020). Role of iot technology in agriculture: A systematic literature review. *Electronics2020*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/electronics9020319>
- Gamal, Y., Gadallah, S., Osama, A., Soltan, A., & Madian, A. (2022). IOT-based air quality monitoring system for agriculture. *2022 - 4th Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (Niles)*, 206–210. <https://doi.org/10.1109/NILES56402.2022.9942441>
- Gans, R., Ubacht, J., & Janssen, M. (2020). Self-sovereign Identities for Fighting the Impact of COVID-19 Pandemic. *Digital Government: Research and Practice*, 2(2), 1–4. <https://doi.org/10.1145/3429629>
- Guerrero-Ulloa, G., Andrango-Catota, A., Abad-Alay, M., Hornos, M., & Rodríguez-Domínguez, C. (2023a). Development and Assessment of an Indoor Air Quality Control IoT-Based System. *Electronics2023*, 12(3), 608. <https://doi.org/10.3390/electronics12030608>
- Guerrero-Ulloa, G., Méndez-García, A., Torres-Lindao, V., Zamora-Mecías, V., Rodríguez-Domínguez, C., & Hornos, M. (2023b). Internet of Things (IoT)-based indoor plant care system. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 15(1), 47–62. <https://doi.org/10.3233/AIS-220483>
- Guerrero-Ulloa, G., Rodríguez-Domínguez, C., & Hornos, M. (2023c). Agile Methodologies Applied to the Development of Internet of Things (IoT)-Based Systems: A Review. *Sensors2023*, 23(2). 790. <https://doi.org/10.3390/s23020790>

- Gupta, A., & Nahar, P. (2023). Classification and yield prediction in smart agriculture system using IoT. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(8), 10235–10244. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03685-w>
- Hernández-Morales, C., Luna-Rivera, J., & Pérez-Jiménez, R. (2022). Design and deployment of a practical IoT-based monitoring system for protected cultivations. *Computer Communications*, 186, 51–64. <https://doi.org/10.1016/J.COMCOM.2022.01.009>
- Hyunjin, C., & Sainan, H. (2021). A study on the design and operation method of plant factory using artificial intelligence. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 6(3), 1–5. <https://link.springer.com/article/10.1007/s41204-021-00136-x>
- Kelebekler, E. (2021). Monitoring and recording system of laboratory environmental conditions as ISO/IEC 17025 requirement. *2021 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Application (INISTA)*. <https://doi.org/10.1109/INISTA52262.2021.9548498>
- Khan, P., & Karna, L. (2021). Green House System Design Using IOT. *Proceedings of the 5th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, 522–526. <https://doi.org/10.1109/ICECA52323.2021.9676064>
- Lekbangpong, N., Muangprathub, J., Srisawat, T., & Wanichsombat, A. (2019). Precise Automation and Analysis of Environmental Factor Effecting on Growth of St. John's Wort. *IEEE Access*, 7, 112848–112858. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2934743>
- Lova Raju, K., & Vijayaraghavan, V. (2022). A Self-Powered, Real-Time, NRF24L01 IoT-Based Cloud-Enabled Service for Smart Agriculture Decision-Making System. *Wireless Personal Communications*, 124(1), 207–236. <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-586227/v1>
- Malhotra, A., Som, S., & Khatri, S. (2019). IOT Aided Techniques for Agriculture. *2019 4th International Conference on Information Systems and Computer Network (ISCON)*, 129–133. <https://doi.org/10.1109/ISCON47742.2019.9036174>
- Mazo-Zuluaga, I. (2020). *Identificación del volcamiento en un cultivo experimental de maíz, a partir de imágenes RGB adquiridas con una aeronave remotamente tripulada, en el departamento de caldas* [Tesis de Maestría, Universidad Católica de Manizales]. <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/3367>
- Mekala, M., & Viswanathan, P. (2019). CLAY-MIST: IoT-cloud enabled CMM index for smart agriculture monitoring system. *Measurement*, 134, 236–244. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2018.10.072>
- Mekala, M., & Viswanathan, P. (2020). Sensor Stipulation with THAM Index for Smart Agriculture Decision-Making IoT System. *Wireless Personal Communications*, 111(8), 1909–1940. <https://doi.org/10.1007/S11277-019-06964-0/METRICS>

- Mohammad EL-Basioni, B., Mohamed, E., Belal, A., Jalhoum, M., Abd EL-Kader, S., & Zahran, M. (2022). A case study of a real-time internet of things system for site-specific potato crop management in El-Salhia Area-Egypt. *Scientific Reports*, 12(1), 1–29. <https://doi.org/10.1038/S41598-022-22690-3/FIGURES/29>
- Mondal, A., & Dutta, P. (2022). Boltuino Platform Based Cognitive Irrigation System with Weather Adaptability for Efficient Water Use. *International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*. <https://doi.org/10.1109/ICISS55894.2022.9915196>
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., & Villanueva, J. (2018). Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral*, 11(3), 184–186. <https://doi.org/10.4067/s0719-01072018000300184>
- Muangprathub, J., Boonnam, N., Kajornkasirat, S., Lekbangpong, N., Wanichsombat, A., & Nillaor, P. (2019). IoT and agriculture data analysis for smart farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 467–474. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.12.011>
- Oliveira-JR, A., Resende, C., Gonçalves João, Soares Filipe., & Moreira Waldir. (2020). IoT Sensing Platform for e-Agriculture in Africa. *2020 IST-Africa Conference (IST-Africa)*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9144060>
- Panda, P., Kumar, C., Vivek, B., Balachandra, M., & Dargar, S. (2022). Implementation of a Wild Animal Intrusion Detection Model Based on Internet of Things. *2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy, ICAIS 2022*, 1256–1261. <https://doi.org/10.1109/ICAIS53314.2022.9742948>
- Pathak, A., Uddin, M., Jainal Abedin, M., Andersson, K., Mustafa, R., & Hossain, M. (2019). IoT based Smart System to Support Agricultural Parameters: A Case Study. *Procedia Computer Science*, 155, 648–653. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2019.08.092>.
- Perales, Á., López-de-Teruel, P., Ruiz, A., García-Mateos, G., Bernabé García, G., & García, F. (2022). FARMIT: continuous assessment of crop quality using machine learning and deep learning techniques for IoT-based smart farming. *Cluster Computing*, 25(1), 2163–2178. <http://dx.doi.org/10.1007/s10586-021-03489-9>.
- Ponce, J., Erazo Moreta, O., & Vicuña Pino, A. (2021). Técnicas estadísticas aplicadas a la caracterización de cacao con enfoque agromática. *Revista San Gregorio*, 1(46). <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i46.1527>.
- Quezada-Sarmiento, P. A., (2017). Implementación de una solución web y móvil para la gestión vehicular basada en Arquitectura de Aspectos y metodologías ágiles: Un enfoque educativo de la teoría a la práctica. *Risti. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (25), 1–14. <https://doi.org/10.17013/risti.25.98-111>.

- Rajkumar, M., Abinaya, S., & Kumar, V. (2017). Intelligent irrigation system - An IOT based approach. *2017 International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT)*. <https://doi.org/10.1109/IGEHT.2017.8094057>.
- Roy, S., Sowmya, B., Seema, S., Rajeshwari, S., & Vinutha, M. (2019). Utility System for Elevating Pre and Post Production of Crops. *2019 IEEE International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER)*. <https://doi.org/10.1109/DISCOVER47552.2019.9008103>
- Sachan, R., Kaur, S., & Shukla, A. (2021). Smart Irrigation and Security System for Agricultural Crops and Trees. *2021 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)*. <https://doi.org/10.1109/ICRITO51393.2021.9596246>.
- Sharma, A., Kumar, H., Mittal, K., Kauhsal, S., Kaushal, M., Gupta, D., & Narula, A. (2021). IoT and deep learning-inspired multi-model framework for monitoring Active Fire Locations in Agricultural Activities. *Computers & Electrical Engineering*, *93*. <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2021.107216>.
- Singh, P., & Sharma, A. (2022). An intelligent WSN-UAV-based IoT framework for precision agriculture application. *Computers and Electrical Engineering*, *100*. <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2022.107912>.
- Sinha, B., & Dhanalakshmi, R. (2022). Recent advancements and challenges of Internet of Things in smart agriculture: A survey. *Future Generation Computer Systems*, *126*, 169–184. <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.08.006>
- Sushanth, G., & Sujatha, S. (2018). IOT Based Smart Agriculture System. *2018 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*. <https://doi.org/10.1109/WISPNET.2018.8538702>
- Tephila, M., Sri, R., Abinaya, R., Lakshmi, J., & Divya, V. (2022). Automated Smart Irrigation System using IoT with Sensor Parameter. *2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)*, 543–549. <https://doi.org/10.1109/ICEARS53579.2022.9751993>
- Thirrunavukkarasu, R., Meeradevi, T., Ganesh Prabhu, S., Arunachalam, J., Manoj Kumar, P., & Prasath, R. (2021). Smart Irrigation and Crop Protection Using Arduino. *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2021*, 639–643. <https://doi.org/10.1109/ICACCS51430.2021.9441867>.
- Tiglao, N., Alipio, M., Balanay, J., Saldivar, E., & Tiston, J. (2020). Agrinex: A low-cost wireless mesh-based smart irrigation system. *Measurement*, *161*. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2020.107874>.
- Tovar, J., Solórzano, J. D. los S., Badillo, A., & Rodríguez Cainaba, G. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Lámpsakos*, (22), 86–105. <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

- Turner, M. (2010). Digital Libraries and Search Engines for Software Engineering Research: An Overview. *January 2010*, 1–11. http://ebse.webspace.durham.ac.uk/wp-content/uploads/sites/49/2022/08/SearchEngineIndex_v5.pdf.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, 164, 31–48. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>.
- Vásquez-Bermúdez, M., Hidalgo, J., Crespo-León, K., & Cadena-Iturralde, J. (2019). Citizen Science in Agriculture Through ICTs. A Systematic Review. In: Valencia-García, R., Alcaraz-Mármol, G., Cioppo-Morstadt, J., Vera-Lucio, N., Bucaram-Leverone, M. (Eds.). *ICT for Agriculture and Environment. CITAMA2019 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 901, (pp. 111–121). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10728-4_12
- Venkatesh, J., Ramasamy, K., Aruna, M., Praveen, K., Sasikala, N., & Nasani, K. (2022). EAgrri: Smart Agriculture Monitoring Scheme using Machine Learning Strategies. *2022 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICSES)*. <https://doi.org/10.1109/ICSES55317.2022.9914216>
- Verdouw, C., Wolfert, S., & Tekinerdogan, B. (2016). Internet of things in agriculture. *CABI Reviews*, 11(35), 1-12. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201611035>.
- Wu, J. (2022). Crop Growth Monitoring System Based on Agricultural Internet of Things Technology. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/8466037>

Copyright (2023) © Martín Carlos Abad Alay, María Alejandra Méndez García y Orlando Ramiro Erazo Moreta



Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons](#) 4.0.

Usted es libre para Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato — y Adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material—para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de Atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) – [Texto completo de la licencia](#)